

Sous la direction
de Denis Zmirou
avec Denis Bard,
William Dab,
Frédéric Dor,
Marcel Goldberg,
Philippe Hubert,
Jean-Luc Potelon,
Philippe Quénel

Les enfants asthmatiques sont de plus en plus nombreux. Les hommes produisent de moins en moins de spermatozoïdes. Les consommateurs s'inquiètent de la qualité des aliments dans leur assiette. Le lait maternel recèle des dioxines. Le bruit perturbe notre vie quotidienne. Intox ? Hystérie ? Ou réalité ? Un peu des trois à la fois. Oui, la qualité de notre environnement a des conséquences directes sur la santé humaine. Nous payons un lourd tribut à l'ère industrielle. Notre époque s'interroge sur les conditions d'un développement sain et durable. Mais attention aux nouvelles à sensation, ce ne sont pas toujours les risques les plus grands qui sont le plus à craindre ; une nuisance faible mais répétée peut avoir un impact très important, parce qu'elle concerne tout simplement un grand nombre de gens. Moins massifs qu'il y a cinquante ans, les risques d'aujourd'hui sont plus difficiles à cerner car plus diffus et aux effets différés.

Dans un langage clair et précis, des spécialistes de santé publique décrivent dans ce livre les effets des toxiques sur le corps, débusquent les causes de nouveaux types d'affections, enquêtent sur les risques liés à notre mode de vie. Ils brossent un tableau complet des doutes et des certitudes de la science. Et, en bons médecins, ils prescrivent quelques remèdes : renforcement des normes et réglementations, changements d'habitudes dans la vie de tous les jours, retour en force d'une vraie politique de santé publique. Une lecture indispensable pour s'informer, comprendre et agir en vue de préserver notre environnement et notre santé.

Denis Zmirou est docteur en médecine et docteur en sciences. Enseignant-chercheur à l'université Joseph-Fourier (Grenoble I), il est membre du Haut Comité de santé publique et du Comité de la précaution et de la prévention (CPP) et travaille, depuis 1999, au sein de l'Institut de veille sanitaire.

Jean-Marie Pelt est professeur émérite de l'université de Metz et président de l'Institut européen d'écologie.

ISBN 2-84146-827-5 139F

Couverture : Ahl Anne Meige,
photos : Michel Bussy, James Hardy, PhotoAlto

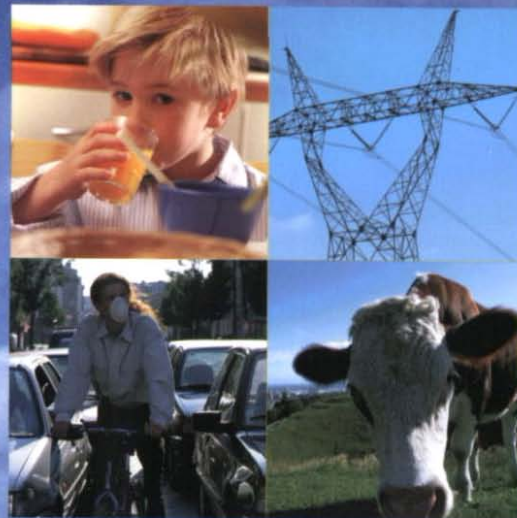


Denis Zmirou
avec Denis Bard, William Dab, Frédéric Dor
Marcel Goldberg, Philippe Hubert, Jean-Luc Potelon, Philippe Quénel

Quels risques pour notre santé ?

Pollution,
air, eau,
aliments, bruit,
nucléaire...

Préface de Jean-Marie Pelt



VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

LES AUTEURS

Denis BARD, École nationale de la santé publique, Rennes.
William DAB, Direction générale de la santé, secrétariat d'État à la Santé.
Frédéric DOR, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
et Institut de veille sanitaire.

Marcel GOLDBERG, université de Paris-V, INSERM U88
et Institut de veille sanitaire.

Philippe HUBERT, Institut de protection et de sûreté nucléaire.
Philippe QUENEL, Institut de veille sanitaire.

Jean-Luc POTELON, École nationale de la santé publique, Rennes.
Denis ZMIROU, université de Grenoble-I et Institut de veille sanitaire.

Sous la direction de DENIS ZMIROU.

Avec la participation de

Alain ATTARD, médecin ORL, Grenoble : bruit.

Jean-Claude BEANI, professeur d'Université,
faculté de médecine de Grenoble : ultraviolets.

André CICOLLELA, chercheur, INERIS, Verneuil-en-Halatte : éthers de glycol.

Jacques DÉCHENAU, responsable de l'Association pour la prévention
de la pollution atmosphérique, Grenoble : air dans l'habitat.

Jean LESNE, professeur, École nationale de la santé publique,
Rennes : microbiologie de l'eau.

Gérard PASCAL, professeur, INRA, Paris : OGM.

Alfred SPIRA, professeur d'Université, faculté de médecine de Paris-Sud
et INSERM U92 : troubles de la reproduction.

Christine VERNOZY, maître de conférences, École nationale vétérinaire de Lyon
risques microbiologiques alimentaires et prions.

Denis Zmirou

*Avec Denis Bard, William Dab, Frédéric Dor,
Marcel Goldberg, Philippe Hubert, Jean-Luc Potelon,
Philippe Quénel*

**Pollution, air, eau, aliments,
bruit, nucléaire...**

Quels risques pour notre santé ?

Préface de Jean-Marie Pelt



SYROS

La collection « Société et santé »

Les questions de santé publique occupent, depuis plusieurs années, une place croissante dans les débats de société. La Mutualité française a souhaité renforcer son rôle d'acteur de santé en contribuant à la réflexion dans ce domaine. Aussi, a-t-elle décidé de créer, avec l'appui d'un comité scientifique, une collection consacrée aux problèmes d'économie et de sociologie de la santé et, plus généralement, aux grandes questions de santé publique.

La collection « Société et santé » poursuit un double objectif. Le premier est de permettre aux professionnels de santé, mais aussi au grand public, d'appréhender certaines problématiques trop souvent réservées aux seuls experts. Le second est d'ouvrir, sur ces questions, un réel espace de discussion et de libre parole. Les analyses et opinions présentées dans ces ouvrages n'engagent, par conséquent, que leurs auteurs.

Les membres du comité scientifique

- Hubert ALLEMAND : médecin conseil national (CNAMTS).
- Professeur Claude BÉRAUD : conseiller médical du président de la FNMF.
- Jean-Martin COHEN SOLAL : directeur de la communication et de l'information de la FNMF.
- Anne BRACQUE : responsable de collection, FNMF.
- Étienne CANIARD : président de la Mutuelle des agents des impôts, membre du Haut Comité de la santé publique.
- Bernard CASSOU : professeur de santé publique.
- Marc DANZON : directeur du secteur « Promotion de la santé et santé publique », FNMF.
- François GÈZE : directeur général des Éditions La Découverte & Syros.
- Marcel GOLDBERG : directeur de recherche à l'INSERM.
- Claudine HERZLICH : directeur de recherche, CNRS.
- Pascal KELLER : maître de conférences en psychologie, université de Bordeaux.
- Yves LAMACHE : FNMF.
- Jean-Paul MOATTI : directeur de l'unité INSERM 379, Marseille.
- Guy NICOLAS : rapporteur général du Haut Comité de la santé publique.
- Janine PIERRET : directeur de recherche, CNRS.
- Gérard DE POUVOURVILLE : directeur scientifique du groupe IMAGE, École nationale de la santé publique.

« Quiconque désire étudier la médecine comme il faut devra considérer les rapports entre les saisons de l'année, les vents et les eaux, la santé et la maladie. »

Hippocrate (460-377 av. J.-C.).

Catalogage Électre-Bibliographie

Quels risques pour notre santé ? : Pollution, air, eau, aliments, bruit, nucléaire / dir. Denis Zmirou ; Denis Bard, William Dab, Frédéric Dor et al. ; préf. Jean-Marie Pelt. — Paris : Syros, 2000. (Société et santé)

ISBN 2-84146-827-5

RAMEAU : Hygiène du milieu.
Homme : effets de l'environnement.
Pollution : effets physiologiques.
DEWEY : 613.1 : Hygiène. Facteurs climatiques.
Rôle de l'environnement naturel. Naturisme.
Public concerné : Tout public.

PRÉFACE

La prise de conscience des méfaits perpétrés par l'homme sur la nature remonte à la plus haute antiquité. Platon déjà déplorait la désertification de la Grèce qu'il comparait à un corps décharné aux ossements parfaitement visibles. Car à son époque, la Grèce se souvenait encore de sa riche parure végétale, que chantaient cinq siècles plus tôt Homère et Hésiode.

Une prise de conscience analogue se développa aux États-Unis lors de la conquête de l'Ouest. La destruction massive des grands troupeaux et les déboisements systématiques engendrèrent de vives réactions et débouchèrent, au cours du siècle dernier, sur les premières mesures de protection de la nature, dont le célèbre parc de Yellowstone devint rapidement le symbole.

En France, une sensibilité analogue se manifestait autour de l'École de Barbizon et de la protection de la forêt de Fontainebleau. Puis apparut en 1866 le mot « écologie », qui resta d'abord confiné à la seule sphère des spécialistes.

Ainsi, à la différence des botanistes ou des zoologistes, qui décrivaient les espèces, les écologistes étudiaient plus particulièrement les interrelations existant au sein des écosystèmes. L'écologie suivait alors deux axes prioritaires : l'un scientifique orienté vers la connaissance du fonctionnement de la nature, l'autre associatif et juridique visant plus spécialement à sa protection.

Puis vinrent les années soixante, durant lesquelles se développa à partir de la Californie, un puissant mouvement d'idées qui atteignit la France dans la mouvance des événements de mai 68. La nature, malmenée par une expansion industrielle intense et rapide, devenait un objet de débats et de préoccupations unanimement partagées par l'opinion publique. C'est à cette époque que l'on vit naître le premier ministère de l'Environnement, significativement baptisé « ministère de la Protection de la Nature ». L'on vit aussi apparaître de nouveaux concepts, dont celui de pollution qui connut bientôt une extension exceptionnelle. La pollution c'était des poissons morts, des oiseaux mazoutés et des sols imprégnés de substances toxiques. Pourtant à cette époque aucun lien ne fut établi entre ces pollutions et leur impact sur la santé humaine. Les hommes étaient comme exclus de la protection de la nature... La pollution générait pourtant bien des nuisances, nuisances à l'origine de la naissance de nombreuses associations se développant à proximité des sources polluantes. Mais l'on dénonçait davantage une gêne qu'un impact sur la santé.

Pourtant le souci du bien-être de l'homme n'était pas exclu de la mouvance écologique, car un troisième concept majeur vit le jour à cette époque, celui de « qualité de la vie ». Ainsi s'intitula d'ailleurs, dans un deuxième temps, le ministère de Protection de la Nature. Il s'agissait cette fois d'écologie humaine destinée à mettre l'homme à l'abri des nuisances causées par les rythmes de la vie moderne, génératrice de stress et d'un mal-être généralisé. La qualité de la vie visait à prévoir des équipements et des modes de vie, des aménagements du temps et de l'espace permettant aux hommes de mieux maîtriser à leur profit l'évolution sauvage des sociétés industrielles avancées. C'est par ce biais qu'apparurent les premières préoccupations relatives à l'impact des nuisances urbaines et industrielles sur la santé de l'homme. Sur la santé psychique d'abord avant que l'on prenne conscience des incidences des pollutions et des nuisances de toute nature sur la santé biologique.

Il avait donc fallu un long chemin, une longue évolution pour remettre si l'on peut dire l'homme au cœur de l'écologie. On comprendra mieux ce retard en se remémorant la puissance dans les pays anglo-saxons de la *deep ecology*, l'écologie profonde, qui met au sommet de la hiérarchie du vivant, non plus l'homme mais l'écosphère,

dont l'homme n'est qu'un acteur parmi d'autres. Dans cette perspective, c'est précisément cette écosphère qu'il faut protéger en priorité, la nature, les espèces vivantes animales et végétales ayant en quelque sorte des droits sur nous. Vision plus fréquente dans les milieux anglo-saxons que dans la mouvance latine, conférant à chaque espèce un véritable statut. Des droits en quelque sorte que ne leur avait point reconnus la Déclaration universelle des droits de l'homme, jugée trop anthropocentrique. Le courant de la *deep ecology* resta fortement minoritaire dans les pays de tradition latine, humanistes, qui continuaient à placer l'homme au centre de la Création. C'est donc de l'homme et de sa place dans l'environnement qu'il convenait en priorité de s'occuper, sans pour autant négliger la nature dans son ensemble sans laquelle il ne serait pas, et dans laquelle il convient qu'il s'épanouisse, dans une heureuse harmonie, dans une authentique alliance, tel que ce mot figure d'ailleurs dans les livres sacrés de l'Occident, la Bible et le Coran.

Cette écologie humaniste nettement majoritaire finit par se préoccuper des impacts des pollutions et nuisances de toute nature sur la santé humaine. Ces préoccupations avaient en fait été les nôtres dès les origines de l'Institut européen d'écologie en 1971. Nous ne cessons d'insister, afin que soit prise en considération cette dimension nouvelle de l'écologie, supposant le développement systématique d'études épidémiologiques et toxicologiques concernant l'impact des polluants et des nuisances, non seulement sur les écosystèmes mais aussi sur la santé humaine. Une vigoureuse campagne développée à propos de l'énergie nucléaire fut une des premières occasions d'évoquer les problèmes de l'impact de la radioactivité sur la santé. Puis ce fut la crise de la dioxine après l'accident de Seveso. Vinrent ensuite les préoccupations concernant la chimie agricole et ses multiples retombées sur la nature et la santé. Puis la pollution alimentaire et les problèmes qui se développent aujourd'hui autour de ce thème.

L'ouvrage qui nous est ici proposé développe de manière exhaustive l'ensemble de la problématique « environnement-santé », sous la plume de spécialistes incontestables, chacun apportant sa connaissance précise d'un domaine particulier à l'œuvre commune. Aucun domaine n'a été négligé, comme le montre bien la table des matières

particulièrement fournie. Dans la dernière partie de l'ouvrage, la problématique constamment évolutive de l'évaluation et de la gestion des risques, est développée avec une remarquable pertinence : les nouveaux systèmes d'information, les nouvelles approches de l'évaluation des risques sont notamment proposés et discutés.

Les auteurs insistent également sur les nécessaires développements des formations de base et des formations spécialisées qui restent, en France, très insuffisantes dans tous ces domaines.

Cet ouvrage constitue une contribution importante à l'un des domaines les plus « chauds » et les plus controversés de l'écologie. Il importe en effet, dans les polémiques qui naissent et qui fument sous le vent des médias, au risque d'affoler parfois à tort les populations, de savoir raison garder. Aucun domaine plus que celui-ci exige jugement et discernement, multiplicité et confrontation des expertises, réflexion de synthèse et, *in fine*, décision qui ne peut appartenir qu'à la puissance publique. C'est ce que les auteurs ont tenté de faire, même si en certains domaines, leurs points de vue pourraient être discutés. Mais n'est-ce pas là l'essence même du débat ? Car l'on voit dès à présent se dessiner dans le domaine des rapports entre la science et la société, ces fameuses actions « citoyennes », émergence d'une nouvelle forme de démocratie, où le public ne sera plus totalement laissé à l'écart des questions touchant à l'écologie scientifique. Certes la confrontation des scientifiques et de l'opinion publique est une donnée nouvelle, à laquelle le passé ne nous a guère habitués. Mais l'élévation continue du niveau de culture et de conscience de l'opinion rend aujourd'hui ces confrontations inévitables. Elles devront se développer à l'avenir, dans un climat assaini et à la recherche de consensus toujours plus larges, ce qui donnera une dimension nouvelle et positive au débat démocratique.

JEAN-MARIE PELT

Président de l'Institut européen d'écologie,
Professeur émérite de l'université de Metz

PRÉAMBULE

LA PARABOLE DES MOULES

« Est-il quelque chose qui d'abord ressemble plus à l'erreur que la vérité qui lutte contre les préjugés consacrés par le temps ? »

John MILTON,
poète et philosophe anglais, XVII^e siècle.

Le vendredi 10 janvier 1997, l'ensemble des médias de France s'empare d'une information sensationnelle : le *British Medical Journal*, revue médicale réputée, doit publier le lendemain les résultats d'une étude conduite par des épidémiologistes français dans le Nord-Cotentin. Les journalistes ont reçu, certains depuis plusieurs jours, le texte de l'article scientifique.

Le motif de cette fièvre ? Les auteurs concluent que la fréquentation des plages et la consommation des produits marins locaux, tant par les enfants que par leurs mamans, sont associés à un triplement du risque de survenue de leucémie chez les jeunes de moins de 25 ans. Or cette région concentre un certain nombre d'installations nucléaires dont la plus visible est l'usine de retraitement de combustibles nucléaires située à La Hague à la pointe du Cotentin. Les

auteurs¹ considèrent que leurs résultats plaident, de manière convaincante, en faveur de l'existence d'un rôle causal de l'exposition environnementale aux radiations. L'usine de retraitement est explicitement mentionnée dans le titre de l'article. Elle fait figure d'accusée principale, d'autant que l'un des auteurs a déjà publié deux ans auparavant une autre étude scientifique, à l'écho bien moindre, observant quatre cas de leucémie sur quinze ans autour de la centrale pour 1,4 attendus « spontanément » entre 1978 et 1993. Il concluait alors que le risque de leucémie chez les jeunes de moins de 25 ans était près de 3 fois plus élevé dans un rayon de 10 km autour de La Hague que dans l'ensemble du département.

Dès le lendemain de la parution, le ministre de l'Environnement, Corinne Lepage, promet une nouvelle étude épidémiologique.

Une bataille d'experts

Un sujet aussi sensible que les risques de l'industrie nucléaire, 11 ans après Tchernobyl, garantit à coup sûr une couverture médiatique exceptionnelle. Les écologistes, les industriels du nucléaire, dont bien sûr l'exploitant de La Hague, font entendre leur voix. Les épidémiologistes français, puis britanniques, très recherchés par les journalistes, contestent, sur certains points de méthode, qui la conclusion attribuant cet excès de risque aux rayonnements ionisants.

L'opinion publique est prise à témoin de cette controverse entre experts. Pour les épidémiologistes qui critiquent le travail de leurs collègues, l'étude est « bien conduite mais » surinterprétée ». Compte tenu des difficultés inhérentes aux méthodes scientifiques mises en œuvre, les observations faites, certes troublantes, ne permettent pas pour autant de conclure de manière tranchée sur le rôle de l'usine de retraitement. Les méthodes de sélection des témoins indemnes de maladie ne permettraient pas d'assurer une bonne représentation de la

population du Nord-Cotentin. Des chercheurs mettent en doute l'exactitude et la précision de réponses faites par des familles à qui l'on a demandé quelles plages elles fréquentaient et quels aliments elles consommaient plus de trente ans auparavant... De fait, il s'agit là de la faiblesse majeure, bien connue des épidémiologistes, de ce type d'enquête : très fréquemment, les malades ou les parents d'enfants atteints d'une maladie grave cherchent à se souvenir plus précisément que les témoins des comportements qui ont pu précéder un tel drame individuel, avec pour résultat la mise en évidence artificielle d'un risque associé à certains aspects d'un mode de vie. Dans ce cas précis, il est vraisemblable que les parents d'enfants leucémiques aient soupçonné par avance le rôle possible des installations nucléaires de la région, dont les risques sont discutés depuis des années par la presse locale et nationale. Les parents de ces enfants auraient pu ainsi biaiser de manière inconsciente les résultats de l'étude. Pour les spécialistes de la radioprotection, y compris les épidémiologistes spécialisés, le lien causal proposé avec force dans l'article du *British Medical Journal* entre l'excès annoncé de leucémies et la contamination de l'environnement par des éléments radioactifs, est invraisemblable. D'après les nombreuses mesures effectuées sur place, le surcroît d'exposition des populations du Nord-Cotentin dû aux installations nucléaires de la région serait au plus de 3 % des expositions encourues par le public en général, du fait de la radioactivité naturelle et des pratiques médicales. L'exposition au rayonnement naturel est inévitable quoique variable d'une personne à l'autre et d'un endroit à l'autre. Quant aux irradiations médicales dues par exemple aux radiographies, les bénéfices qu'en retirent les patients excèdent largement le surcroît de risque qu'elles entraînent. Il existe un volume considérable de données disponibles sur les effets médicaux des rayonnements quelle qu'en soit l'origine, naturelle ou pas. Le risque de leucémie est le mieux documenté. Ces données permettent d'estimer avec une précision très rarement rencontrée en épidémiologie le risque de leucémie encouru du fait des rayonnements ionisants, notamment à partir des observations conduites depuis les années 1950 sur les survivants des bombardements atomiques de Hiroshima et Nagasaki. Une augmentation de l'exposition de 3 % ne peut, au vu de ces données, provoquer une augmentation du risque

1. « Case-control study of leukemia among young people near La Hague nuclear reprocessing plant: The environmental hypothesis revisited ». Par les docteurs J.-F. VIEL et D. POBEL, de la faculté de médecine de Besançon, *British Medical Journal*, 1997, 314, p. 101-106.

de 300 %. Dès lors, les résultats rapportés seraient le fait du hasard ou le fruit d'autres causes encore mystérieuses.

Mais les médias ne manquent pas de faire état des liens institutionnels entretenus par ces spécialistes de la radioprotection avec l'industrie nucléaire, ce qui jette un certain discrédit sur leurs critiques.

Écologistes et industriels : une bataille frontale

Selon les milieux écologistes, les résultats peuvent s'expliquer par une dissimulation des vrais niveaux de contamination radioactive du Nord-Cotentin, en particulier au cours des premières années de fonctionnement de l'usine. Si les groupes écologistes ne contestent pas vraiment les niveaux de radioactivité relevés et communiqués – non sans réticence – par l'exploitant, la COGEMA, ils discutent vivement la représentativité des points de mesure de cette radioactivité et la liste jugée incomplète des éléments radioactifs mesurés. En effet, certains gaz radioactifs ne sont pas recherchés, de manière systématique, dans l'environnement.

Depuis la première série d'articles, émissions de radio et de télévision de janvier 1997, la question des leucémies de La Hague s'incruste dans l'actualité. Les groupes écologistes y contribuent très largement en contestant avec vigueur les pratiques de rejets d'effluents radioactifs par l'usine de retraitement, notamment en mer (« l'affaire du tuyau », cet émissaire des effluents liquides de l'usine réapparu à l'air libre à l'occasion d'une marée particulièrement basse). L'exploitant se défend en mettant en avant son respect des autorisations officielles de rejets de radioéléments. Dès lors, pour les écologistes dont l'écho est amplifié par les médias, c'est aussi l'autorité de contrôle qui est en cause : « Que font les Ministres ? ».

Des conséquences prévisibles et d'autres qui l'étaient moins

L'hypermédiatisation du sujet et les batailles d'experts dans un contexte de risque grave touchant des enfants créent une anxiété diffuse et légitime chez une partie des habitants du Nord-Cotentin, voire chez les estivants habituels de la région : y a-t-il réellement un

risque à fréquenter les plages ou à consommer des produits de la mer ? Les ministères de la Santé et de l'Environnement décident dès le 22 janvier 1997 de créer, sous la présidence d'un universitaire choisi chez les non-spécialistes, une commission multinationale d'épidémiologistes (dont l'auteur du travail « détonateur »), et d'experts en radioprotection. Elle est chargée de conduire une nouvelle étude dont les résultats doivent être fournis sous 6 mois ! Las, la commission échoue. Faute de conclusions claires, l'anxiété des habitants de la région reste donc entière. Un groupe de « mères en colère » (c'est ainsi qu'elles se sont nommées), interpelle durant l'été les protagonistes de l'affaire. À l'automne, les nouveaux ministres de la Santé et de l'Environnement créent deux commissions. L'une a pour mission d'estimer les doses de rayonnements reçues par la population du Nord-Cotentin ; l'autre est chargée de faire des propositions sur la réorganisation de la surveillance du risque radiologique en France. Les travaux de cette dernière commission, rendus publics au printemps 1998, établiront que lorsqu'on prolonge l'enregistrement des cas de leucémie de l'enfant jusque fin 1997 (soit 4 ans après le terme de la période d'étude du travail *princeps*), on n'observe pas d'excès de cas sur l'ensemble de la période 1978-1997². Ainsi, ce dernier résultat peut apparaître rassurant. Il laisse cependant place au doute : n'y a-t-il pas eu excès de cas sur la période plus brève (1972-1992) étudiée initialement ?

En juillet 1999, la seconde commission a mis en évidence le niveau modeste des expositions encourues par les riverains du fait des émissions des installations nucléaires et suggéré que les excès de cas observés dans l'étude de 1996 ne sauraient être attribués à ces expositions. Cette conclusion provient d'un travail collectif de tous les acteurs, locaux et nationaux, publics, industriels, et associatifs.

« L'affaire des leucémies de La Hague » recèle tous les éléments qui caractérisent la recherche des liens entre santé et environnement et des crises qui peuvent s'ensuivre. On y voit un exploitant qui base le niveau de ses rejets d'éléments radioactifs sur un risque considéré

2. A. SPIRA, O. BOUTOU, *Rayonnements ionisants et santé : mesure des expositions à la radioactivité et surveillance des effets sur la santé*, rapport aux ministres de l'Environnement et de la Santé, Collection des rapports officiels, La Documentation française, Paris, 1999.

par lui et les autorités compétentes comme « négligeable ou inexistant », en accord avec la réglementation. Faut-il (est-il possible de) les ramener à zéro ? Cet objectif est-il raisonnable alors que les expositions naturelles ou de la vie courante sont bien supérieures à celles produites par ces rejets ? Une différence clé, il est vrai, réside dans le fait que ces derniers sont sous le contrôle d'un industriel et sont subis bien plus que voulus par les tiers. De plus, l'acceptabilité de ce risque encouru par les riverains n'a jamais fait l'objet du moindre débat public. Faut-il enfin rappeler l'extrême réticence de l'exploitant – qualifié par certains d'arrogant – à communiquer les niveaux de ses rejets dans l'environnement ?

La relation qui unit ces rejets et le risque est difficile à expliquer, d'autant que la notion de risque est elle-même abstraite, comme virtuelle. Si les connaissances dans le domaine radiologique sont très développées, elles sont cependant imparfaites, comme toute science. L'ampleur réelle des doses reçues est particulièrement délicate à déterminer, car elles parviennent à l'homme par des voies multiples (l'air, au domicile et au travail, l'eau, l'alimentation...). L'incertitude alimente la controverse. Les experts mis à contribution éprouvent de grandes difficultés à s'accorder sur un message qui, en raison de ces incertitudes, appelle des jugements de valeur. Par définition, ces jugements seront, à tort ou à raison, attribués aux intérêts personnels ou institutionnels de ces experts. Or, faut-il véritablement s'étonner de ce que des intérêts se manifestent derrière les interprétations scientifiques de faits incertains ? N'y a-t-il qu'une seule vérité, évidente pour tous ? Si l'on reconnaît le caractère inéluctable, voire désirable, par souci démocratique, de ces avis différents, comment assurer la prise en compte de tous les points de vue, et apporter la garantie d'un arbitrage équilibré, aux responsabilités clairement délimitées ?

Dans ces conditions, sur quelles bases et jusqu'à quelles limites appliquer le « principe de précaution » : l'arrêt de l'installation ? Voir celui de l'ensemble de la filière nucléaire ?

Le lecteur comprendra que ce point de vue n'est pas celui des auteurs de ce livre. Pourtant, leur expérience des risques liés à l'environnement leur montre qu'il n'est pas facile de porter un message de vérité pour établir un dialogue confiant. La première de ces vérités est de reconnaître qu'on ne sait pas tout, et que la vie de l'homme est

celle de son apprentissage des risques. Ceux que la « nature » lui impose, et ceux créés par son appétit incessant pour la découverte... ou pour le profit.

Encore un livre sur l'environnement !

Cet ouvrage tente de montrer que le débat sur les risques de l'environnement est moins compromis par les carences de la science (elle est toujours imparfaite, par définition) que par une mauvaise organisation et une immaturité du débat public. Malgré des connaissances toujours lacunaires, il est possible de construire un système d'analyse des nuisances et des risques qui permettent de prendre des décisions éclairées. Pour parvenir à cette démonstration, une première partie du livre campera le paysage, en définissant les notions essentielles d'écologie humaine, de danger, d'exposition et de risque. On y verra que l'hygiène du milieu a permis à l'homme, depuis un siècle et demi, de réaliser les progrès sanitaires les plus prodigieux de son histoire. L'ouvrage est segmenté en 5 chapitres selon les milieux physiques où l'homme évolue, milieux profondément marqués par son activité sociale et industrielle. Chaque chapitre tentera d'exposer l'origine et la nature des *dangers* (voir la définition de ce terme plus loin) susceptibles de menacer la santé de l'homme ainsi que les principaux problèmes de santé qui leur sont imputables (ou supposés tels). La prévention des pollutions et des risques sera décrite, tant dans son organisation (les acteurs, les principaux textes législatifs ou réglementaires) que dans sa logique (lorsqu'il y en a une !). Au long de ces développements, les faits connus seront établis, mais les incertitudes, dans ce monde complexe, seront sans doute aussi nombreuses. Cela pourra agacer mais, foi de spécialistes, cet ouvrage ne fera pas croire au lecteur que seul l'appât du gain (ou l'incompétence du décideur) fait obstacle au règne serein de l'évidence scientifique.

Ce découpage en tranches est pratique ; il ne correspond pas, cependant, à la vie réelle, faite d'une multitude d'échanges entrelacés entre l'homme et ces milieux. Aussi, le lecteur sera invité dans une dernière partie à une réflexion plus large sur les évolutions qui ont marqué les vingt dernières années, en matière d'attitudes face aux risques. Des repères pour agir en citoyen informé lui seront alors

proposés. En s'invitant dans le débat sur le principe de précaution le citoyen éclairé évitera que cette exigence de gestion prudente des risques ne soit dénaturée en un illusoire et trompeur principe d'abstention systématique. Quelle question est plus politique que celle du risque acceptable ?

Plus personne ne doute, aujourd'hui, que les décisions humaines, personnelles ou collectives, influencent considérablement notre qualité de vie et les circonstances de notre mort. À l'heure où l'on s'interroge sur l'utilité sociale des colossales dépenses dites « de santé » – en réalité des dépenses consacrées quasi exclusivement à soigner les personnes malades –, il n'est pas anachronique de proposer de réfléchir aux politiques publiques qui préservent ou réparent un milieu de vie fragile. L'Histoire nous enseigne que ces politiques constituent un moyen majeur de prévenir ou différer la souffrance, la maladie et la mort. Le siècle triomphant des prouesses biomédicales nous l'avait fait oublier. Cette évidence revient au galop.

INTRODUCTION

Le terme « écologie » (du grec *oikos*, habitat, et *logos*, science) a été créé en 1866 par le biologiste darwinien allemand Ernst Haeckel (1834-1919), pour définir la « science globale des relations des organismes avec le monde extérieur environnant, dans lequel sont incluses, au sens large, les conditions d'existence ». L'écologie étudie les systèmes complexes d'organisation du biotope¹. Elle englobe un ensemble de disciplines scientifiques qui contribuent à cette connaissance, telles que la botanique, la zoologie, la biologie des populations... Cet ouvrage se reconnaît donc comme une (modeste) contribution à « l'écologie humaine ». Il s'intéresse aux relations que l'Homme noue avec son environnement. Le champ est focalisé sur un aspect particulier de ces multiples relations : celui des effets que le milieu peut avoir sur la santé d'*Homo sapiens sapiens*. Les disciplines scientifiques mobilisées s'appellent démographie, épidémiologie, toxicologie, microbiologie, radiobiologie, mais aussi géochimie, physique des fluides ou sociologie. La liste n'est pas close.

Il existe, depuis quelques décennies, une autre acception du terme écologie. Celle d'un mouvement de pensée à vocation « politique »

1. Aire géographique de dimensions variables offrant des conditions constantes ou cycliques aux espèces vivantes (« biocénose »).

(« agir dans la cité ») qui connaît plusieurs modes d'expression et se rattache à des courants philosophiques variés. Luc Ferry, dans son ouvrage *L'Ordre écologique*, y cerne notamment un courant qu'il qualifie de *deep ecology*, d'inspiration surtout anglo-saxonne, pour lequel la Nature a des droits propres, l'Homme n'étant qu'une espèce parmi d'autres, d'ailleurs particulièrement prédatrice et condamnable. Les auteurs du présent ouvrage inclinent plutôt, dans le classement proposé par Ferry, du côté des « environnementalistes », pour lesquels l'environnement est « ce qui entoure l'Homme ». Cette vision anthropocentriste, qu'ils préfèrent appeler humaniste, est héritière des philosophes des Lumières, qui voyaient en l'Homme le seul sujet de droit. Ce n'est pas pour autant qu'il a, tel le *Pater familias* de Rome, droit de vie et de mort régalién sur l'ensemble des autres espèces des règnes animal et végétal... S'il a pu s'extirper de sa condition animale, par son organisation sociale et le développement de la culture, l'Homme est étroitement dépendant du milieu physique qui l'entoure. Il s'en protège, s'en nourrit, en extrait les biens nécessaires à son confort, s'en émerveille aussi. Pour cela, il a su s'adapter et évoluer pour conquérir quasiment tous les espaces de la Terre. Cela s'est traduit par la différenciation de certains caractères physiques et psychiques, sous-tendus par une diversification génétique, mais aussi (surtout) par de multiples expressions de son organisation sociale qui fondent les diverses civilisations de cet animal grégaire. Cette Nature, si souvent idéalisée par les tenants de la *deep ecology*, lui fait chèrement payer sa singulière fragilité. Événements climatiques tels que pluies torrentielles et cyclones, tremblements de terre, mais aussi compétition avec les autres espèces du biotope, bêtes « sauvages » et surtout ses invisibles ennemis microscopiques : ce fut, c'est encore, une lutte incessante pour la survie.

Cette Nature, il l'a « anthropisée », façonnée, pour se protéger et s'assurer sécurité et confort. Depuis des millénaires, l'Homme s'est forgé des outils pour dompter cette Nature hier hostile, au point de faire disparaître de ses zones d'habitat, voire du globe, un grand nombre des autres espèces, animales ou végétales, et de menacer à terme sa propre survie. Mer d'Aral, qu'es-tu devenue ?

Le respect que l'Homme doit à la Nature est donc d'abord un souci bien compris de son propre intérêt et de celui des siens,

demain et après-demain. Parce que déforestation anarchique, endiguement abusif des cours d'eau, constructions sauvages et autres inconscientes rapines accroissent sa vulnérabilité aux phénomènes naturels, transformés alors en catastrophes. Par vision patrimoniale, parce que les ressources naturelles ne sont pas inépuisables et doivent être gérées intelligemment. Parce qu'il aspire à profiter encore longtemps des merveilles qu'elle offre, dans son infinie diversité. Aussi, enfin, parce qu'à trop compter sur le pouvoir qu'aurait Gaïa² d'encaisser ses affronts, il risque de nuire à sa propre santé.

La santé dont il sera question ici répond à la définition, belle et utopiste, qu'en a donné l'Organisation mondiale de la santé, en 1946 : « Un état de complet bien-être physique, mental et social, qui ne consiste pas simplement en une absence de maladie ou d'infirmité. » Derrière un caractère souvent jugé trop flou, cette définition incite à toujours progresser dans la promotion de la santé. Elle souligne (on verra plus loin que, hélas, elle n'est guère entendue) que les techniques médicales réparatrices ne sont que quelques moyens, parmi bien d'autres, qui concourent à préserver la santé des personnes et des populations. Pour respecter cette Nature, il faut la comprendre. Pour assurer cette coexistence pacifique et bénéfique, l'Homme doit agir sur son environnement lorsqu'il est menaçant, et le protéger aussi contre les multiples dangers qui le guettent : surpopulation (2,5 milliards en 1950, 5 en 1989, sans doute 10 avant 2030, dont près de 60 % vivront dans d'immenses mégapoles), surexploitation des ressources ou recherche de profits immédiats. Cette gestion clairvoyante des relations entre l'environnement et la santé implique certes des comportements individuels, mais elle est surtout affaire de responsabilité collective, de dimension sociale donc politique : c'est une vision de *Santé publique*.

L'hygiène du milieu, la matrice de la Santé publique

La gestion des risques liés à l'environnement est à l'origine du dispositif de Santé publique construit au XIX^e siècle. Bien avant, dans la Grèce antique, le grand médecin de l'Île de Cos, Hippocrate (460-

2. Divinité grecque personnifiant la Terre mère universelle (*Petit Larousse*).

377 av. J.-C.), avait déjà proposé une étude systématique des relations entre l'environnement et la maladie. Son traité majeur *Des airs, des eaux et des lieux*, fut la base théorique pour la compréhension des maladies endémiques et épidémiques jusqu'au XIX^e siècle. Plus proche et déjà installé dans l'époque moderne, Bernardino Ramazzini (1633-1714) publie en 1700 le premier ouvrage complet d'hygiène du travail *De morbis artificum diatriba*, après avoir étudié les maladies de travailleurs de tous métiers. Mais c'est au cours de la première moitié du XIX^e siècle que sont définies les bases de l'hygiène publique : à la fois discipline scientifique et ensemble d'actions et d'institutions. La Grande-Bretagne, lancée avant toutes les autres nations dans l'ère industrielle, en a été le berceau, avec en particulier Edwin Chadwick (1800-1890), juriste spécialisé dans le droit sanitaire qui fut l'auteur du *Report of an inquiry into the sanitary condition of the labouring population of Great Britain*. C'est dans le grand port de Liverpool que fut créé, en 1847, le premier bureau d'hygiène de l'ère moderne, doté d'un « Medical officer », un an avant celui de Londres. En France, Le Havre ouvre le premier bureau municipal d'hygiène en 1879... Ces administrateurs clairvoyants et avisés ont compris qu'il fallait éliminer les eaux usées, choisir des lieux protégés pour l'alimentation en eau potable et réorganiser l'habitat dans les cités, pour réduire la propagation des maladies. Ils ne connaissaient pas encore les microbes, et épousaient la théorie désuète des « miasmes » qui attribuait ces maladies des sociétés en cours d'urbanisation intensive à des émanations malsaines à partir des eaux sales, des sols et de l'air putrides. John Snow (1813-1858) est la figure emblématique du monde épidémiologique. C'est lui qui, avant qu'on n'identifie les microorganismes, démontre de manière magistrale qu'une nouvelle épidémie du choléra à Londres, en 1854, était due à un certain puits de la Broad Street (aujourd'hui à Soho), autour de laquelle se concentraient la majorité des décès, scrupuleusement reportés sur un plan : la fréquence des décès (taux d'incidence, selon la terminologie épidémiologique) était près de 10 fois plus élevée chez les utilisateurs de ce puits alimenté par les eaux de la Tamise tirées en aval d'un égout, que parmi les personnes desservies par une autre compagnie, pompant l'eau en amont de l'égout. Ces données lui étaient fournies par William Farr (1807-1883), considéré comme le créateur des statis-

tiques de santé publique modernes. On ne crut cependant pas le médecin. John Snow décida donc, selon la légende, de commettre un acte de « terrorisme urbain ». Aidé de son assistant, il démontra nuitamment le bras de la pompe. Le puits devenu inutilisable, on alla s'approvisionner ailleurs, et l'épidémie se tarit. Snow en déduisit l'existence d'un « poison du choléra ». Deux ans plus tard, une loi imposait la filtration de l'eau du fleuve. Ce n'est qu'en 1883 que Robert Koch, le grand bactériologiste allemand, identifia le vibron cholérique.

La France, pourtant mère des statistiques (Pierre-Simon Laplace, Siméon Poisson, Pierre-Charles-Alexandre Louis³...), a contribué plus tardivement à cet essor, malgré Louis-René Villermé (1782-1863). Ce chirurgien de l'armée impériale se consacra à l'étude des effets sanitaires de l'industrialisation naissante dont il décrivit les ravages dans son œuvre maîtresse le *Tableau de l'état physique et moral des ouvriers employés dans les manufactures de coton, de laine et de soie* (Paris, 1840). Les découvertes de Louis Pasteur (1822-1895) dans les domaines de la bactériologie et de l'immunologie fonderont scientifiquement les bases de la lutte anti-infectieuse, de l'hygiène de l'eau à la vaccination⁴. Outre Atlantique, Lemuel Shattuck (1793-1859), à Boston, crée l'American Statistical Society et rédige, avec le *Report of the Massachusetts sanitary commission*, un ouvrage qui servira de trame, pendant un siècle, à l'organisation de la Santé publique aux États-Unis. Cette extraordinaire école de pensée influence, encore aujourd'hui, le Vieux continent.

Jusqu'alors, l'Homme subissait son milieu. Il s'en remettait à la Providence. Petit à petit, il le comprend mieux, grâce à l'observation attentive des circonstances de la maladie, voire, avec Snow, avec l'expérimentation en grandeur nature fondée sur un raisonnement épidémiologique. Cela permet d'agir sur le cadre de vie, d'abord de

3. Dans leur ouvrage *Foundations of epidemiology* (Oxford University Press, 1980), A. et D. Lilienfeld parlent de l'influence considérable de Louis sur des générations de statisticiens et épidémiologistes en Grande-Bretagne (William Guy, William Farr, John Simon...) et aux États-Unis (Elisha Bartlett, George Shattuck...).

4. Et ce, malgré le combat incessant et précoce des antivaccinateurs, particulièrement actifs en France (Voir J. SKOMSKA-GODEFROY « La résistance contemporaine à la vaccination : le cas français », in *L'Aventure de la vaccination*, sous la direction d'A.-M. MOULIN, Fayard, Paris, 1996).

manière très pragmatique, puis, avec les découvertes « pastoriennes » et « kochiennes », sur la base de faits scientifiques mieux établis. Cette progressive démystification du milieu jette les bases d'une action planifiée et raisonnée : la prévention. L'hygiène publique, pièce maîtresse de cette nouvelle approche de la santé, est autant l'œuvre d'ingénieurs et d'administrateurs éclairés que de médecins et de biologistes. Elle permet à cette partie de l'humanité de réaliser les progrès sanitaires les plus prodigieux de son histoire. En canalisant les eaux usées, en protégeant la ressource et en filtrant l'eau de boisson puis, si nécessaire, en désinfectant l'eau par le chlore, l'Homme apprend à maîtriser son ennemi, le péril hydrique. À Chicago, de 1860 à 1920, le taux annuel de mortalité par fièvre typhoïde chute de 100 à moins de 5 pour 100 000 habitants. Les thérapeutiques anti-infectieuses modernes ne seront connues que 20 ans plus tard. En édictant des règles de construction qui assurent la ventilation, permettent au soleil de pénétrer les demeures et réduisent la suroccupation de l'espace, l'Homme voit s'effondrer le tribut payé au « fléau romantique » qu'est la tuberculose. En Angleterre et au Pays de Galles, de 1838 à 1940, le taux de mortalité par tuberculose respiratoire chute de 4 à 0,5 pour mille. L'amélioration générale de l'état nutritionnel de la population a aussi, sans doute, joué un rôle majeur dans ces progrès sanitaires. La chimiothérapie spécifique n'apparaît qu'au sortir de la Seconde Guerre mondiale, le BCG est généralisé au début des années cinquante.

Période glorieuse pour la Santé publique ? En 1912, l'Académie de médecine décrivait l'organisation de l'hygiène en France comme « une grande façade derrière laquelle il n'y a rien » ; au sortir de la Grande Guerre, le Comité de la Croix-Rouge américaine venue assister l'État français défaillant constate que : « ...in France, the significance of public health has not been appreciated⁵ ». Il faudra 16 ans de combats parlementaires acharnés, de 1886 à 1902 pour réussir à faire adopter par la nouvelle Chambre « Dreyfusarde », sous une forme il est vrai très édulcorée, une loi portant organisation de la santé publique en France. Une sainte alliance des conservateurs se présentant comme

les gardiens des libertés communales contre l'hydre jacobine, et des autorités médicales jalouses de leur emprise sur les services locaux de santé, fait obstacle à l'instauration d'un dispositif pourtant déjà en place chez nos voisins germaniques et britanniques depuis plusieurs décennies : la résistance à la vaccination antivariolique, la rébellion contre la déclaration à l'administration de certaines maladies contagieuses, et la volonté farouche de s'opposer à l'institution de règlements sanitaires communaux (contre notamment les maladies transmissibles et l'habitat insalubre) ont défait « le parti de l'hygiène », dénomination infamante donnée aux enfants de Villermé, de Marcellin Berthelot, de Léon Bourgeois et de quelques autres promoteurs d'une action publique déterminée dans le domaine de la santé. Quelque 70 ans plus tard, A. Morelle, sera (en français cette fois) toujours aussi sévère, lorsqu'il analysera les causes du désastre du sang contaminé dans son ouvrage *La Défaite de la santé publique*. Il y a bien une singularité française dans l'univers de la santé publique. On peut essayer de la décrypter en analysant le contraste entre le traitement accordé par l'État à l'École et celui fait à la Santé publique, au tournant des XIX^e et XX^e siècles. Fondement de la République d'un côté, abandon aux initiatives locales et médicales de l'autre. Pourtant, comme l'instruction, la protection de la santé n'est-elle pas une impérieuse obligation de la puissance publique ? N'est-elle pas aussi, dans un souci de sécurité et d'équité, une condition de la liberté ? Un siècle durant, l'État se désintéressera, en France, de ce domaine, laissant l'initiative aux édiles locaux, sous l'empire des notables médicaux⁶ très influents sur les décisions des maires, souvent maires eux-mêmes. Cela a empêché tout développement autonome de la Santé publique. Jusqu'à la création d'un corps d'État, maigre et sous-qualifié, en 1941 (hygiénisme et eugénisme sous Vichy !), les agents des services d'hygiène sont révocables par les élus locaux. Avec quelque 200 fonctionnaires locaux en 1919, l'appareil de santé

5. « [...] la portée de la santé publique n'a pas été perçue ».

6. Lion MURARD et Patrick ZYLBERMAN soulignent, dans *L'Hygiène dans la République* (cf. Bibliographie) que la médecine libérale, logée dans les cadres du pouvoir communal, fut bien souvent la principale ennemie de la Santé publique en France, contrairement à la puissante British Medical Association. Celle-ci publie toujours de prestigieuses revues scientifiques de santé publique.

publique français fait piètre figure à côté des 8 330 agents de la State Medicine outre-Manche, dont près de 1 700 Medical Officers. La Grande-Bretagne et l'Allemagne aussi ont vu la santé publique se construire à partir des collectivités territoriales, mais c'était dans un cadre législatif et politique fermement défini par l'État. Ce n'est qu'en 1920, qu'est créé pour la première fois en France un ministère chargé de la Santé (ministère de l'Hygiène, de l'Assistance et de la Prévoyance sociale), tirant de bien modestes leçons des drames sanitaires de la guerre (pas ceux des morts au combat, mais ceux de ces poilus victimes par milliers de la tuberculose et surtout de la grippe espagnole qui fit, durant l'automne 1918, des ravages dans un pays à genoux, comme dans le monde entier : 40 millions de morts !).

En 1926, les dépenses d'hygiène au sein du ministère du Travail et de l'Hygiène (déjà, depuis 1924, il n'y avait plus de ministère de la Santé autonome !) représentent 0,14 % des dépenses publiques⁷ ; elles plafonnent à 0,39 % en 1932, la meilleure année de l'entre-deux-guerres ; dans ce budget étrié qui « permet », entre autres (!) de financer la lutte contre la tuberculose, les maladies vénériennes et l'alcoolisme, la place de l'hygiène publique elle-même est réduite à la portion congrue (2 % en moyenne). La Santé publique est déjà gravement sous-administrée. Cinquante ans plus tard, c'est encore ce que chaque nouveau ministre ou secrétaire d'État à la Santé dénonce, en prenant ses fonctions, clamant invariablement qu'enfin « les choses vont changer ».

C'est grâce à un apport étranger qu'a existé un embryon de santé publique de 1919 à 1933 : la Fondation Rockefeller a investi en France des sommes considérables et offert ses *Medicine men* agissant de manière exemplaire contre la tuberculose. Il faudra encore dix années, après le premier essai de 1920, pour voir enfin institué par la loi du 28 mars 1930 le premier véritable ministère de la Santé publique. Mais, après la « défaite » de 1902, c'est « un corps sans troupe⁸ ». Si les choses changent plus vite, à compter du milieu des années trente, c'est principalement pour appuyer la politique nataliste d'un pays pétrifié par la menace du voisin allemand.

7. Voir l'ouvrage de MURARD et ZYLBERMAN, *op. cit.*, 1997.

8. *L'État en France de 1789 à nos jours*, P. ROSANVALLON, Le Seuil, 1990.

Avec la création et l'extension de la Sécurité sociale, après la Seconde Guerre mondiale, un principe majeur d'équité progresse : petit à petit, la société met en place un dispositif d'assurances sociales qui permet (presque) à chacun d'accéder aux soins que son état nécessite. En principe et en droit, du moins. En fait, c'est beaucoup plus compliqué. Cette solvabilité financière, donnée au plus grand nombre, a permis l'extraordinaire développement de l'offre de soins et des technologies médicales auquel on a assisté au cours de la seconde moitié du ^{xx}e siècle. Formidables progrès de la médecine.

Mais on a baissé la garde en matière de prévention. Pourquoi donc se préoccuper de prévenir l'infection lorsque les antibiotiques nous promettent la victoire définitive sur les microbes ? Pourquoi, quelques années plus tard, mettre en place une sélection des donneurs de sang, basée sur l'identification des facteurs de risque, puisque les techniques biologiques nous permettent de dépister des substances indésirables dans le plasma ? Le « droit à la santé » s'est muté en « droit aux soins techniques les plus performants ». Bien dangereuse dérive. L'affaire du « sang contaminé » puis, dans la foulée, la maladie de Creutzfeld-Jacob (d'abord dans sa dimension « hormone de croissance », puis dans celle de la « vache folle ») et l'amiante ont fait s'effondrer ces certitudes. Derrière les errements politiques et juridiques de ces drames humains, on sait aujourd'hui que la grave sous-administration de la Santé publique, en France, est un facteur de sérieux dangers pour la santé... et pour les responsables politiques, administratifs et professionnels. La loi de sécurité sanitaire de juillet 1998 sanctionne cette profonde évolution des mentalités. Dans cette évolution, les crises liées à l'environnement ont aussi pris leur part.

Santé, risques et environnement : le sens des mots

L'étymologie du mot *risque* reste incertaine. Plusieurs origines ont été proposées : les latins *resecum* (ce qui coupe ou l'écueil), *rixicare* (la querelle), *rhia* (la racine, en grec) ; très évocateur est le terme *rizq* (le sort, en arabe, ou aussi la ration quotidienne du soldat qui, sans doute, n'était pas sûr de la goûter tous les jours...). Le commerce de la Renaissance emploie ce mot pour décrire la perte des marchandises

transportées par voie maritime ; on le retrouve logiquement dans le monde de l'assurance puis, par extension, avec les mathématiciens et philosophes héritiers des Lumières de la fin du XVIII^e siècle (Condorcet...), dans le domaine des premières assurances sociales (on parle aujourd'hui du « risque maladie » ou du « risque famille » (sic) à la Sécurité sociale).

Ce terme est important pour l'épidémiologiste. En premier lieu, il désigne une probabilité : celle de contracter une maladie ou de décéder. C'est un *risque individuel*. Par extension, le risque peut désigner la fréquence relative d'un problème de santé dans une population. Pour l'épidémiologiste, le risque se distingue essentiellement du *danger* (désigné en anglais par le terme *hazard* [avec un z], troublante coïncidence...), qui caractérise le potentiel pathogène d'une substance ou d'un comportement. Le mot *danger* sera souvent utilisé, dans la suite de cet ouvrage, pour décrire la nocivité intrinsèque d'une substance chimique ou d'un agent microbiologique ou physique dans l'environnement. Un *danger* (dans le sens donné ici à ce terme) n'est vraiment « dangereux » (dans le sens commun du mot) que si des gens lui sont exposés. Une barre de radium perdue au milieu d'un lieu désertique peut être fort fâcheuse pour le fennec, elle n'occasionne pas pour autant un risque pour l'Homme, sauf pour le chasseur de fennec. Un déchet industriel toxique peut être stocké dans des conditions de confinement très sûres, même au voisinage de zones habitées : s'il demeure « potentiellement » dangereux, il n'y a pas pour autant risque. Pour cela, il faut un *contact* avec l'agent ou produit dangereux. Ce contact peut se faire par inhalation, ingestion ou par voie cutanée (cf. p. 246) : c'est l'*exposition*. Dès lors, il y a pénétration d'une partie du produit dans le corps, puis enchaînement de conséquences biologiques. Cette exposition est parfois caractérisée par une *dose externe*, qui quantifie le contact entre le milieu extérieur et l'organisme ou par une *dose interne*, la quantité du produit ayant pénétré, et qui est biologiquement active.

Ainsi, le risque résulte à la fois de l'importance de l'exposition et de l'intensité du danger. La nocivité dépend des caractères des personnes : l'hôte, avec sa constitution et ses fragilités propres, réagira plus ou moins fortement à une exposition donnée. Les problèmes de santé sont inégalement distribués dans la population : les expositions

sont variées ainsi que les capacités d'adaptation des personnes. Cette analyse de l'hétérogénéité de l'état de santé dans la population fonde la démarche de santé publique : elle alimente, depuis Snow, la recherche des facteurs de risque, parmi lesquels l'exposition à des agents dangereux. Elle fournit aussi les bases d'une action visant à agir pour prévenir ou corriger cette situation.

Ces concepts de danger, de risque et d'exposition sont particulièrement pertinents pour l'étude de la relation environnement-santé. Le risque, ainsi défini, permet d'analyser les problèmes de santé au niveau de la population. La capacité de mesurer les risques et de les comparer est donc essentielle pour exprimer quantitativement les conséquences d'une exposition sur la santé de l'homme. Ce concept clé permet aux différentes disciplines scientifiques qui concourent à la compréhension des phénomènes biologiques en cause de dialoguer entre elles.

Pour connaître et traquer ces risques, il faut les surveiller. La *surveillance* est l'activité qui consiste à suivre de manière systématique l'évolution, dans le temps, d'un problème, pour fournir en temps réel des moyens d'agir si un phénomène jugé préoccupant se produisait. Par exemple, la grippe est surveillée au plan mondial et français, avec recherche des virus mutants qui rendraient indispensable la fabrication urgente de nouveaux vaccins. Divers systèmes d'enregistrement de phénomènes de santé (les décès et leurs causes médicales, les cas de cancers, l'infection par le VIH...) ont été progressivement mis en place pour permettre aux autorités sanitaires de connaître une situation et, le cas échéant, d'agir rapidement.

Les principes établis pour agir sur les facteurs qui influencent la santé d'une population (la distribution et la qualité des soins, les sources de nuisances...) et le mode d'organisation des acteurs publics ou privés concernés déterminent ce qu'il est convenu d'appeler la *gestion du risque*. Les actions et politiques mises en œuvre pour maîtriser le risque doivent faire l'objet d'évaluations, qui mesurent leur efficacité. L'*évaluation du risque* est une démarche scientifique qui apprécie l'ampleur d'un risque et sa distribution dans une population. Elle fournit au décideur des éléments les plus objectifs possibles sur lesquels fonder sa stratégie d'action : cette nuisance occasionne-t-elle vraiment des conséquences sanitaires pour la population ? Pour qui ? Quelles formes prennent ces conséquences délétères ? Quelles

voies d'exposition jouent le rôle prédominant ? Cette évaluation du risque considère aussi les caractères qualitatifs (des enfants, des vieillards, des femmes enceintes, des travailleurs...) et quantitatifs (combien sont exposés, malades ou susceptibles de le devenir ?) de la population qui est concernée par la nuisance. En effet, la définition d'une priorité de santé publique ne répond pas nécessairement à un problème qui occasionne le *risque* le plus grand : une nuisance apparemment de moindre importance (le risque est plus faible) peut avoir un *impact* très important (et peut-être plus inacceptable) si elle concerne une population de grande taille et/ou de grande sensibilité. L'*impact* est la mesure du nombre de personnes qui sont affectées par la nuisance (la source du danger) ou le seront si l'on ne fait rien. C'est là sans doute une clé du choix des priorités.

Cette démarche d'évaluation du risque, récemment « importée » en France (ce pays d'ingénieurs et d'administrateurs qui établissent normes techniques et règlements et considèrent que si ceux-ci sont respectés, tout va bien...), oblige à penser autrement la gestion des risques liés à l'environnement. La gestion du risque doit certainement reposer sur son évaluation pour décider de manière éclairée ; elle n'a cependant aucune raison de s'y soumettre servilement. Par exemple, fallait-il s'exposer aux foudres de l'Union européenne pour protéger le consommateur français des possibles risques liés au bœuf britannique ? La décision de mobiliser en priorité des ressources pour tel ou tel problème lié à notre environnement ou aux autres déterminants de la santé d'une population ne saurait être technique : elle est d'abord *politique*, dans le sens plein du terme. Ce que l'évaluateur, et le citoyen avec lui, forcent le décideur à exposer clairement, c'est l'ensemble des critères qu'il a pris en considération avant de trancher. Transparence et responsabilité. Risque, risque nul, risque acceptable, risque de se tromper... Au risque de paraître se répéter, nous sommes bien entrés au cœur des questions que va aborder ce livre.

I

LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

La pollution de l'air extérieur

« Ça a marché ! » Ce 2 octobre 1997, le quotidien *Le Parisien* n'en revient pas. Le premier essai de circulation alternée a rencontré un vif succès auprès des Franciliens. Ces derniers jours de septembre, un anticyclone persistant a maintenu au sol une pollution atmosphérique qu'aucun souffle de vent n'a dispersée. En accord avec la loi sur l'air de 1996, le préfet de Région décide donc que le 1^{er} octobre seuls rouleraient les véhicules dont la plaque se termine par un chiffre impair. Métro et RER deviennent gratuits, le temps que diminue la concentration en ozone et en dioxyde d'azote dans l'air ambiant. Personne ne croit le *Parisien* assez civique pour se conformer à l'arrêté préfectoral. Et pourtant, le jour dit, la circulation automobile baisse de 20 % sur toute l'agglomération tandis que la fréquentation des transports en commun grimpe de 10 %.

Ce 1^{er} octobre est une sorte de jour historique. Pour la première fois depuis que la voiture existe, le droit de circuler s'est effacé devant le droit de respirer un air sain. Cette journée démontre deux choses. Sur le plan technique, on a la preuve que la voiture est bien responsable de l'essentiel de la pollution atmosphérique. Avec une circulation réduite, le 1^{er} octobre 1997 a vu la concentration de

dioxyde d'azote passer de 442 µg par m³ à moins de 100 µg. Sur le plan humain, les citoyens ont montré qu'ils sont prêts à privilégier leur santé devant toute autre préoccupation y compris économique. Respirer n'est plus seulement un acte réflexe. Émerge la conscience que l'air est un « aliment » dont dépend la santé humaine. Adultes, nous en respirons en moyenne 15 m³ par jour, soit près de 20 kg à comparer aux deux kilos d'eau potable et au kilo d'aliments dont nous avons besoin quotidiennement. La qualité de l'air est bien devenue un enjeu majeur de santé publique.

La pollution atmosphérique a été définie en 1967 par le Conseil de l'Europe comme résultant de « la présence d'une substance étrangère dans l'air ou d'une variation importante dans les proportions de ses composants, susceptible, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, de provoquer un effet nocif, de créer une nuisance ou une gêne ». En 1996, la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie précise qu'une pollution atmosphérique correspond à « l'introduction par l'homme, directement ou indirectement dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables, de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives ».

Industrie et transport

Les émissions de gaz n'ont cessé de se modifier au gré des révolutions technologiques et leurs effets sur le corps humain, s'ils sont avérés aujourd'hui, sont encore imparfaitement connus. Les premières alertes à la pollution surviennent dès les années trente, notamment dans la vallée de la Meuse en Belgique. Mais le véritable réveil de l'opinion date des épisodes dramatiques survenus à Londres au début de l'hiver 1952 au cours duquel on enregistra un excès de 4 000 décès en deux semaines.

En France, c'est à Paris à la fin des années soixante qu'on procède aux premiers mesurages des niveaux de pollution. De 1950 à 1970, la pollution atmosphérique est essentiellement perçue comme un phénomène local, d'origine industrielle, producteur de poussières

et de gaz acide. On pensait alors que seuls les pics de pollution accidentels ou non pouvaient avoir des conséquences sur la santé. Et seuls les riverains des usines risquaient d'être affectés. Voilà pourquoi les pouvoirs publics ont mis en place en 1956 les premiers réseaux de surveillance de la qualité de l'air, suivis par l'adoption de la loi sur l'air de 1961, et enfin par les « zones de protection spéciale » (ZPS) instituées en 1964. Ces diverses législations ont provoqué une véritable prise de conscience. Notamment, les progrès accomplis par l'industrie à partir des années soixante sont énormes. Les normes de rejets d'effluents n'ont cessé de se durcir au fur et à mesure des avancées dans les technologies de dépollution. L'arrivée de la production électronucléaire dans les années soixante-dix a encore accéléré le phénomène. Aujourd'hui, l'industrie produit plus en polluant moins.

Au même moment, le secteur des transports a explosé. De 1970 à 1992, le trafic français des véhicules particuliers a doublé et celui de marchandises a grimpé de 70 %. Simultanément le trafic par voie ferrée a baissé de 27 % et celui des voies d'eau de 37 %. En trente ans, le taux de motorisation est passé de 250 à un peu plus de 440 voitures particulières pour 1 000 habitants. Au 1^{er} janvier 1999 on comptait dans l'hexagone 32,2 millions de véhicules dont 26,8 millions d'automobiles et 5,4 millions d'utilitaires. La consommation énergétique de ce secteur était de 50,2 Mtep¹ en 1997, contre 36,5 vingt ans plus tôt. Ces véhicules fonctionnent à 95,6 % au pétrole. La part des transports (les sources mobiles) dans les émissions de polluants atmosphériques, notamment de particules fines, a donc augmenté par rapport à l'industrie (les sources fixes).

La pollution urbaine a radicalement changé. Désormais, les pointes hivernales et locales dues aux oxydes de soufre et aux poussières, sans avoir totalement disparu de toutes les zones urbaines, tendent à faire place à des smogs d'été ou à des pollutions plus complexes riches en hydrocarbures, oxydes d'azote, composés oxydants et très fines particules. Cette forme de pollution est diffuse. Elle n'est plus localisée aux alentours de points de pollution bien déterminés comme une cheminée d'usine. Résultant d'une multitude de moteurs

1. Millions de tonnes équivalent pétrole.

en mouvement, elle forme de grosses masses d'air vicié qui se déplacent sur de grandes distances, selon les caprices de la météo.

La mesure de la qualité de l'air

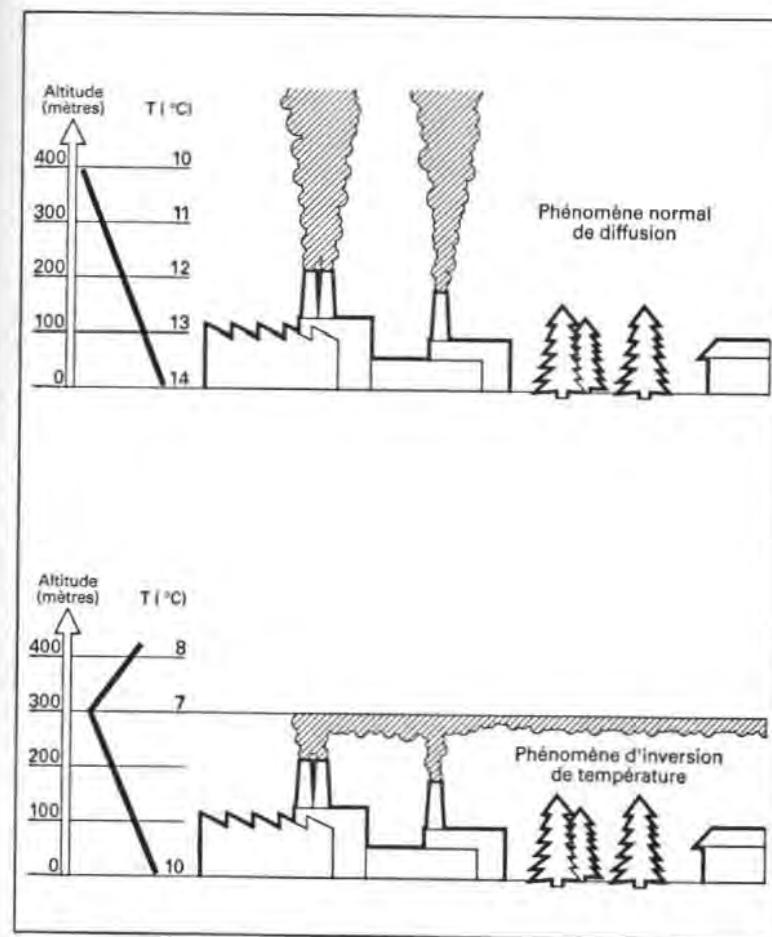
Les polluants émis par les sources fixes et mobiles sont très nombreux, imparfaitement connus et impossibles à analyser tous. On a donc fait le choix de ne retenir que quelques « indicateurs » (ou traceurs) de pollution, généralement les mieux étudiés et les plus faciles à mesurer. L'oxyde de carbone, les oxydes d'azote, les hydrocarbures et les particules en suspension permettent de suivre la pollution automobile. Les sources fixes émettent également ces polluants. On recherchera donc pour caractériser les émanations industrielles des polluants plus spécifiques comme les oxydes de soufre, les métaux lourds (plomb, cuivre...), l'ammoniac, et les dioxines. Grâce à ces inventaires, on peut dénoncer aujourd'hui la part croissante des transports dans la pollution de l'air et le mouvement vertueux du secteur industriel.

Certains de ces outils ont même suffisamment d'ancienneté pour que quelques tendances générales puissent être dessinées. Depuis la fin du XIX^e siècle à Paris, les émanations d'oxyde de carbone ont progressivement augmenté. Si l'on compare à 1956, les niveaux de concentrations de soufre, de fumées noires et d'acidité dans l'air parisien sont dix fois moins élevés aujourd'hui. La « tertiarisation » de l'économie parisienne ces trente dernières années explique pour une très grande part ce phénomène. L'évolution de ces deux indicateurs dans d'autres agglomérations françaises est également favorable mais les niveaux d'oxyde de soufre ou de particules peuvent encore parfois poser problème, comme par exemple à Rouen, au Havre ou à Dunkerque. La situation s'améliore partout pour le plomb, en raison de la disparition progressive de l'essence plombée. Les résultats concernant les oxydes d'azote et l'ozone sont plus récents. Ils ne montrent pas de tendance globale claire et l'état stationnaire semble probable.

Dans l'atmosphère, les polluants sont dispersés, mélangés, recombinaison parfois selon des schémas complexes. Ce que l'on connaît bien aujourd'hui, ce sont les conditions météorologiques qui empêchent la dispersion des émissions, provoquant des concentrations

élevées de molécules chimiques. Une situation anticyclonique avec ciel clair, vent faible, fort ensoleillement favorise ainsi l'accumulation des polluants. C'est exactement ce type de temps qui a provoqué la circulation alternée du 1^{er} octobre 1997. Au contraire, une situation dépressionnaire avec une bonne circulation des masses d'air favorise la dispersion des molécules chimiques. Cet effet de « nettoyage »

FIGURE 1-1. – DISPERSION DES POLLUANTS ÉMIS EN SITE URBAIN



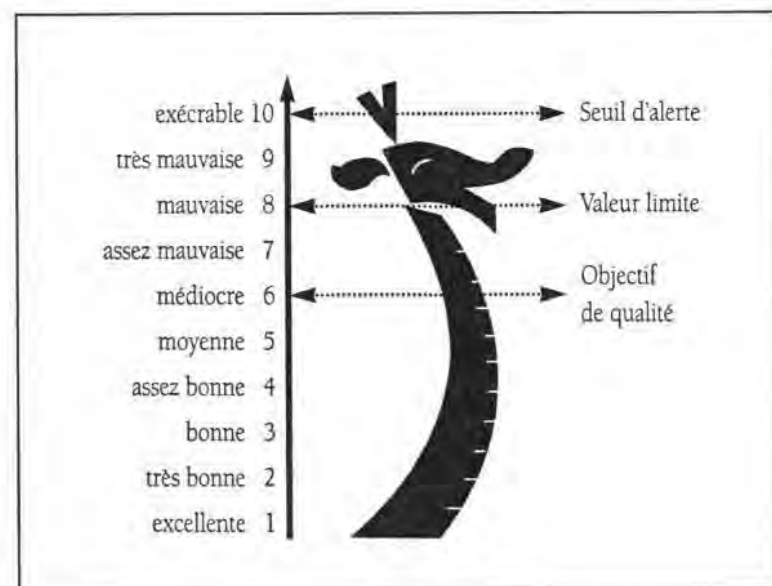
Source : APPA, CD-Rom Atmosphère, atmosph'air.

TABLEAU 1-1. – LES NIVEAUX DE L'INDICE ATMO
(LES SEUILS SONT EN $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Classe	Seuils NO_2	Seuils O_3	Seuils SO_2	Seuils particules
1. Très bon	0- 29	0- 29	0- 39	0- 9
2. Très bon	30- 54	30- 54	40- 79	10- 19
3. Bon	55- 84	55- 79	80-119	20- 29
4. Bon	86-109	80-104	120-159	30- 39
5. Moyen	110-134	105-129	160-199	40- 49
6. Médiocre	135-164	130-149	200-249	50- 64
7. Médiocre	165-199	150-179	250-299	65- 79
8. Mauvais	200-274	180-249	300-399	80- 99
9. Mauvais	275-399	250-359	400-599	100-124
10. Très mauvais	400 +	360 +	600 +	125 +

* arrêté du 10 janvier 2000

FIGURE 1-2. – QUALITÉ DE L'AIR



l'ozone correspondent en effet à des valeurs réglementaires. Si ces niveaux sont dépassés, les pouvoirs publics sont dans l'obligation de réagir. Le niveau 1 impose une information technique et une mobilisation des services compétents : voirie, circulation, services de police, etc. Le niveau 2 oblige les autorités à informer le public, et à faire des recommandations sanitaires de précautions pour les sujets les plus sensibles. Le niveau 3 limite les émissions des sources fixes et mobiles. Des messages sanitaires doivent être diffusés pour l'ensemble de la population. De 1994 à 1997, la région Île-de-France a connu 106 alertes de niveau 1, 20 de niveau 2 et 3 de niveau 3, dont la fameuse journée de circulation alternée du 1^{er} octobre 1997.

Des effets avérés sur la santé

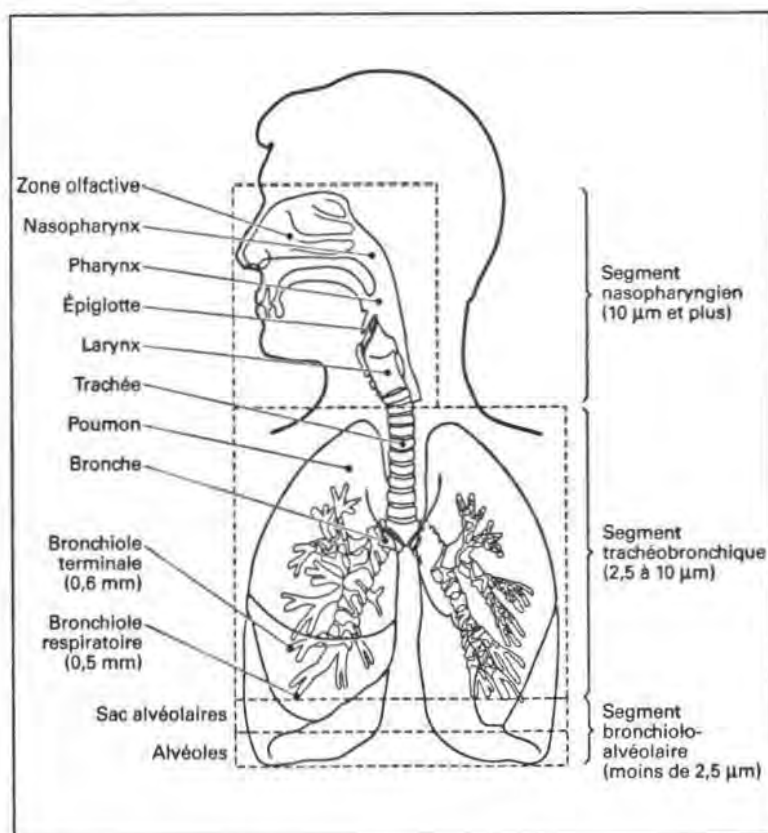
Ces niveaux d'alerte servent aujourd'hui à l'information de chacun. Mais que faire ? Contrairement à un aliment où à l'eau, nous ne pouvons pas arrêter de respirer parce l'air est malsain. Chaque être humain adulte a besoin de ses quelques 15 m³ d'air par jour. Cette exposition est « obligatoire » parce que vitale. Personne ne peut donc empêcher ces contaminants de l'air de pénétrer dans les poumons alors qu'on peut dépolluer l'eau ou assainir la nourriture avant de l'ingérer. Ils peuvent ainsi exercer leur toxicité directement sur l'appareil respiratoire ou, à distance, dans diverses autres parties du corps, après avoir circulé dans le réseau sanguin.

Avec 40 000 décès par an (soit 7 % de la mortalité totale), les pathologies pulmonaires occupent la quatrième cause de mortalité en France. Plusieurs millions de personnes souffrent de pathologies aiguës et, surtout, chroniques comme l'asthme ou la bronchite chronique. Il est clair que ces maladies ne sont pas toutes liées à l'air respiré, loin s'en faut, mais il est difficile de mesurer l'impact sur la santé des niveaux actuels des polluants atmosphériques ambiants. Il ne s'agit plus ici d'un empoisonnement lié à des doses importantes de polluants, mais d'une toxicité chronique en rapport avec des doses d'exposition faibles mais répétées. C'est à cette difficulté que s'attaque l'épidémiologie (voir annexes p. 243).

L'influence de la pollution atmosphérique sur la santé n'est plus guère contestée. On commence également à mieux connaître les

mécanismes d'absorption des toxiques par l'organisme. Jouant de l'acte réflexe qu'est la respiration, les différents polluants ont trouvé chacun leur moyen de pénétrer au plus profond des organes humains. L'appareil respiratoire peut se subdiviser en trois parties principales : le naso-pharynx, le segment trachéo-bronchique et le segment pulmonaire (cf. figure 1-3.). Le naso-pharynx comprend la cavité nasale et le pharynx. Le nez constitue la première ligne de défense du système respiratoire contre les contaminants de l'air. La cavité nasale située immédiatement au niveau des narines est recouverte de poils

FIGURE 1-3. — NIVEAU DE DÉPOSITION DES PARTICULES INHALÉES
DANS L'APPAREIL RESPIRATOIRE SELON LEUR TAILLE



puis, plus profondément, tapissée d'une muqueuse. Les personnes qui respirent directement par la bouche inhalent donc plus de polluants que celles qui utilisent efficacement leur nez. Le segment trachéo-bronchique comprend la trachée et l'arbre bronchique jusqu'aux bronchioles terminales. Ce segment est protégé par des cellules « ciliées » pourvues de sortes de poils très fins, et de cellules caliciformes produisant du mucus. Dans un mouvement ondulatoire, les poils des cellules ciliées transportent le film muqueux et les corps étrangers qui y sont englués jusqu'au pharynx où ils sont déglutis en permanence.

Les polluants contrarient l'efficacité de ce système de défense. Ainsi, la fumée de tabac réduit le nombre de cellules ciliées et modifie la composition du mucus soit de manière directe, soit par altération des cellules caliciformes. Entre les cellules ciliées aboutissent des fibres nerveuses très fines sur lesquelles les polluants ont une action irritante. Par le biais de mécanismes réflexes, les muscles des bronches se contractent, la sécrétion de mucus s'accroît et la toux se déclenche.

Le segment pulmonaire constitue la surface fonctionnelle du système respiratoire. C'est là que s'effectuent les échanges d'oxygène et de gaz carbonique entre l'air et le sang. Il se compose de bronchioles respiratoires, de conduits alvéolaires, de sacs alvéolaires et d'alvéoles. Dans les alvéoles, minuscules sacs d'air au bout de cet arbre respiratoire, les macrophages s'occupent du « nettoyage ». Ces cellules « avalent » puis détruisent les bactéries et les déchets cellulaires, et migrent ensuite en direction des bronches où elles sont évacuées par les cellules ciliées. Les macrophages limitent ainsi les lésions des tissus pulmonaires et la pénétration des particules étrangères dans les tissus pulmonaires. Quand ces capacités de défense sont saturées, les gaz et les particules très fines endommagent les cellules tapissant les alvéoles. L'inflammation locale qui en résulte altère la zone de contact entre les alvéoles et le circuit sanguin.

Les particules dont le diamètre est supérieur à 10 microns mètres sont captées au niveau du segment naso-pharyngien, puis mouchées ou dégluties. Entre deux et dix microns, les particules sont éliminées au niveau du segment trachéo-bronchique, tandis que celles inférieures à deux microns peuvent pénétrer dans le système respiratoire jusqu'aux alvéoles terminales. La figure montre la fraction des particules déposées dans le système respiratoire selon leur diamètre pour

un individu dont le volume et la fréquence de respiration correspondent à une activité normale. Comparée à l'adulte, la proportion de particules fines qui parviennent jusqu'aux alvéoles est trois fois supérieure chez les enfants et jusqu'à huit fois pour les nouveau-nés car chez eux l'arbre respiratoire n'est pas autant ramifié.

Le temps de rétention des particules varie bien sûr en fonction de leur taille, leur forme, leur lieu de dépôt, leurs caractéristiques chimiques et minéralogiques, leur solubilité mais dépend aussi de l'efficacité des mécanismes d'élimination. La fréquence et les niveaux des expositions, la toxicité propre des polluants, la présence concomitante d'infections virales ou l'exposition au tabagisme (actif ou passif) forment des facteurs aggravants. L'élimination se fait selon deux phases : l'une rapide via l'activité ciliaire (de quelques heures au niveau du naso-pharynx à quelques semaines au niveau du segment trachéo-bronchique), l'autre beaucoup plus longue (de plusieurs mois, voire plusieurs années au niveau alvéolaire) via l'activité des macrophages des alvéoles. Les substances cancérogènes ne produisent leurs effets néfastes que si elles persistent pendant de longues périodes à des concentrations suffisantes pour causer des inflammations chroniques. Le plomb, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les dioxines, les furanes s'accumulent dans des organes spécifiques, après avoir pénétré par le tube digestif, en passant à travers la paroi des alvéoles. De l'ordre de 20 à 30 % des particules inférieures au micron se déposent ainsi dans le poumon profond et peuvent migrer dans le sang.

Seule une faible partie des gaz inhalés est filtrée par le nez. Lorsque ces gaz sont hydrosolubles dans l'eau, comme les oxydes de soufre, ils sont absorbés dans les sécrétions aqueuses recouvrant le naso-pharynx. Ils ne vont alors pas plus loin et c'est à ce niveau qu'ils exercent leur pouvoir irritant. Mais ces gaz peuvent également atteindre la partie profonde du poumon lorsqu'ils sont absorbés par des particules fines. Les gaz moins solubles, comme l'ozone, parviennent jusque dans les alvéoles pulmonaires.

• Les populations à risque

L'efficacité de ces mécanismes d'intoxication varie énormément d'un individu à l'autre. L'âge, le sexe, le mode de vie, les habitudes alimentaires, etc., sont autant de paramètres qui influent sur la sensi-

bilité de chacun. En épidémiologie, on parle souvent de groupes à risque ou de populations sensibles, c'est-à-dire de personnes susceptibles de réagir plus tôt ou de façon plus intense aux effets néfastes des polluants atmosphériques. La grande majorité des personnes ne ressentent rien d'anormal aux niveaux de pollution habituellement présents dans les villes européennes et américaines. Mais, pour un même niveau de pollution, certains individus peuvent voir leur santé s'altérer, soit parce qu'ils ont une faible constitution, soit parce qu'ils sont également exposés à d'autres facteurs de risque. Les résultats des études expérimentales et épidémiologiques ont permis d'identifier quelques groupes particuliers : les jeunes enfants, les personnes souffrant de maladies respiratoires (asthmatiques, sujets ayant une bronchite chronique, etc.) ou cardio-vasculaires chroniques, les personnes âgées et, dans une moindre mesure, les sportifs.

Les voies respiratoires des jeunes enfants sont plus fragiles que celles des adultes car elles sont encore en plein développement. De la naissance à trois ans, le nombre des alvéoles pulmonaires passe de 25 millions à quelques centaines de millions. Les bronches des nourrissons sont encore petites et ne disposent que de peu de muscles dans leur paroi pour leur permettre d'expectorer les polluants. En revanche, elles sont riches en glandes bronchiques. Lorsqu'elles sont agressées, ces glandes fabriquent des sécrétions en excès qui peuvent facilement tout obstruer. Par ailleurs, du fait de leur activité physique qui augmente la fréquence respiratoire, les enfants inhalent davantage de polluants que les adultes pour un même niveau d'exposition.

L'asthme est une autre cause de fragilité face à la pollution atmosphérique. La maladie asthmatique se caractérise par un état inflammatoire des voies respiratoires, une grande réactivité des muscles des bronches qui se contractent en cas d'exposition à un agent sensibilisant – ce qui provoque la crise d'essoufflement –, et une augmentation des sécrétions bronchiques. Cette inflammation et les dommages cellulaires qui en résultent, entraînent une augmentation de la perméabilité des cellules aux polluants atmosphériques. De ce fait, les sujets asthmatiques peuvent présenter des symptômes d'irritation bronchique (toux, gêne respiratoire, etc.) ou déclencher une crise d'asthme pour des niveaux d'exposition de pollution relativement faibles. De plus, et cela a été montré plus particulièrement pour

l'ozone, les sujets asthmatiques voient s'abaisser leur seuil de réaction aux allergènes auxquels ils sont habituellement sensibles (poussières de maison, acariens, pollens, etc.). La pollution atmosphérique favorise ainsi l'action des autres causes à l'origine de déclenchement de crises chez les sujets asthmatiques. Cependant, il n'est pas possible, en l'état actuel des connaissances, d'affirmer que la pollution de l'air est responsable de l'augmentation considérable de cette maladie observée depuis à peu près vingt ans dans tous les pays industrialisés.

Les personnes qui souffrent de maladies respiratoires chroniques, comme la bronchite chronique, présentent des altérations de leurs voies respiratoires qui les rendent également sensibles aux agressions des polluants. Or, tout phénomène inflammatoire au niveau des bronches et des bronchioles compromet la ventilation et les échanges gazeux. Cela peut conduire à une insuffisance respiratoire aiguë qui, le plus souvent, nécessite une hospitalisation. Ces personnes sont le plus souvent âgées. Elles ont donc souvent des défenses immunitaires diminuées. La pollution atmosphérique constitue ainsi un facteur supplémentaire de risque qui les rend plus sensibles aux infections virales ou bactériennes.

Bien que les mécanismes d'action des polluants soient encore imparfaitement connus, les personnes souffrant de maladies cardiovasculaires (angine de poitrine, infarctus, etc.) constituent également un groupe de population particulièrement sensible aux effets de la pollution atmosphérique. Aux concentrations actuelles d'oxyde de carbone dans l'air, des troubles cardiaques peuvent se manifester chez des personnes fragilisées. Chez l'homme comme chez l'animal, les phénomènes inflammatoires induits par certains polluants atmosphériques comme les particules, pourraient augmenter la viscosité du sang et entraîner une modification de la fréquence cardiaque, accroissant ainsi le risque d'infarctus.

L'activité sportive accroît bien sûr la ventilation dans des proportions variables selon l'intensité de l'effort. Lors d'une séance de jogging, la ventilation des poumons peut passer de 12 à 15 litres par minute à 100 litres par minute ! Pour un même niveau d'exposition, la dose de polluants inhalée est donc beaucoup plus importante. Cela est particulièrement vrai pour les polluants non solubles dans les sécrétions bronchiques, comme l'ozone. Chez les sportifs, qui sont en

principe en bonne santé, un effort réalisé lors d'une pointe de pollution, ne constitue pas en soi un danger majeur. Mais les performances peuvent être moins bonnes et l'on peut ressentir une gêne respiratoire ou une douleur thoracique lors des inspirations profondes. Cela a posé de sérieux problèmes aux organisateurs des jeux Olympiques de Los Angeles, haut lieu de la pollution « photo-oxydante » riche en ozone.

Les risques liés à la qualité de l'air concernent des personnes souffrant de maladies parmi les plus fréquentes dans la population, comme l'asthme, la bronchite chronique ou les maladies coronariennes. Quasiment toute la population est exposée à la pollution atmosphérique urbaine puisque 80 % des Français vivent désormais en ville. C'est pourquoi, en région parisienne, un excès de mortalité cardio-vasculaire de 2 % en relation avec la pollution acido-particulaire a pu représenter jusqu'à 250 à 350 décès précipités par an, et être en quelque sorte « annoncé » par une augmentation de 22 000 hospitalisations.

Les niveaux de déclenchement des alertes sont fixés de telle sorte que la majeure partie de la population soit protégée. Lors des pics, quelques règles sont recommandées, qui sont fondées sur cette fragilité particulière de certaines populations : ne pas faire de sport en plein air, ne pas fréquenter de fumeurs, éviter l'utilisation de solvants, etc. Les asthmatiques et bronchitiques doivent respecter strictement le traitement médical habituellement prescrit et consulter leur médecin en cas de survenue de symptômes inhabituels ou de la persistance de malaise malgré le strict suivi du traitement.

• Et à long terme ?

Les études conduites au cours de la dernière décennie montrent donc clairement des effets à court terme sur la santé humaine, même à des niveaux relativement faibles de pollution : mortalité précipitée, augmentation des hospitalisations pour causes respiratoires et cardiovasculaires, exacerbation de symptômes chez les patients asthmatiques, diminution de la fonction ventilatoire chez l'enfant. Une augmentation, d'un jour à l'autre, de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de dioxyde de soufre provoque une hausse de 30 à 60 % des symptômes respiratoires, qui

s'accompagnent d'une chute de 4 à 8 % des performances ventilatoires. Des troubles cardio-vasculaires parfois graves peuvent aussi résulter des variations, à court terme, de la qualité de l'air. Ces travaux ont conduit les autorités à reconsidérer récemment les normes de qualité de l'air.

Mais les préoccupations les plus sérieuses concernent les effets à 10 et 20 ans de la pollution atmosphérique. Les connaissances sont ici plus lacunaires. Parmi d'autres travaux récents, trois importantes études réalisées aux États-Unis sur de grandes populations dont les sujets ont pu être suivis individuellement pendant 8 à 16 ans, décèlent un excès de mortalité cardio-respiratoire et par cancer du poumon selon le degré de pollution des villes. Dans l'une de ces études, les habitants des villes les plus polluées développent 17 % de mortalité cardio-respiratoire et 26 % de cancers du poumon de plus que les populations vivant dans des agglomérations à l'air plus sain, pour des écarts de concentrations moyennes de particules fines de l'ordre de 20 à 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bien sûr, les risques en cause sont infiniment moindres que ceux associés au tabagisme : les risques relatifs à la pollution atmosphérique sont dix fois inférieurs à ceux du tabac. Cependant chacun est forcé de respirer l'air qui l'entoure ; l'exposition concerne ainsi la totalité de la population, y compris, on l'a vu, ses segments les plus fragiles. Si le tabagisme reste une priorité absolue, avec des risques relatifs très forts, des maladies fréquentes et une exposition touchant environ un tiers de la population (plus encore chez les jeunes !), cela ne peut pas affranchir les autorités compétentes de leurs responsabilités de prévention dans d'autres secteurs.

En France, comme dans tous les pays industrialisés, les politiques de lutte contre la pollution atmosphérique au cours des trente dernières années ont contribué à une amélioration de la qualité de l'air. Néanmoins, la situation reste préoccupante. Le trafic urbain et surtout périurbain a enregistré une hausse nettement supérieure à celle des transports collectifs. Plus de la moitié des déplacements urbains sont désormais assurés par l'automobile avec une proportion importante de courts trajets : en moyenne un déplacement urbain sur deux est inférieur à 3 km.

Jusqu'à présent, les mesures de prévention de la pollution atmosphérique s'appuyaient largement sur la notion d'alerte. Lorsque cer-

tains seuils définis réglementairement étaient dépassés, les pouvoirs publics mettaient en œuvre des mesures de police, obligeant les grands industriels à utiliser des fuels moins polluants, voire prescrivant l'arrêt du fonctionnement de certaines installations. C'est ainsi que fonctionnent les Zones de protection spéciale. Qu'une telle manière de concevoir l'action de prévention soit encore pertinente, alors que les sources mobiles sont devenues la principale source de pollution, reste à démontrer. Si ces « alertes » ont la vertu de sensibiliser périodiquement les citoyens, ce sont les nouvelles dispositions introduites par la loi sur l'air de 1996 (Plans de déplacements urbains, Programmes régionaux de qualité de l'air...), qui permettront de poursuivre les progrès enregistrés. Elles s'inscrivent dans le long terme. Mais ce long terme commence aujourd'hui ! Les pics de pollution, bien que socialement perçus comme des situations « d'alertes sanitaires », ne constituent pas forcément, aujourd'hui, le facteur de risque prépondérant pour la santé publique. Une focalisation sur ces épisodes peut conduire à négliger les actions de prévention de fond et à orienter les politiques publiques vers des stratégies qui ne seront pas les plus efficaces pour réduire la mortalité ou la morbidité attribuable à la pollution atmosphérique.

La gestion des risques liés à la pollution atmosphérique comporte divers aspects : un cadre législatif et réglementaire, un système national de surveillance, d'alerte et d'information, une dynamique de progrès technologiques, une action sur les comportements individuels et collectifs et un secteur d'études et recherches portant sur l'ensemble de ces approches, notamment dans le domaine sanitaire. Le dispositif législatif et réglementaire français s'inscrit dans le cadre de la politique de l'Union européenne. On y promeut des actions prioritairement exercées à la source (principe « ALARA »⁴ : recours aux meilleures techniques disponibles à un coût économiquement acceptable), avec la définition de concentrations d'émission à ne pas dépasser par type d'émetteur et/ou des flux maxima globaux (plafonds nationaux d'émission). Le principe pollueur-payeur tend à se généraliser. L'information et la participation des citoyens ou des acteurs professionnels

4. ALARA : As Low As Reasonably Achievable.

et les principes de prévention et de précaution, aux plans écologique et sanitaire s'imposent peu à peu. Ces principes se traduisent par des approches complémentaires : surveillance des activités, des produits et des émissions, surveillance de la qualité de l'air ambiant, des expositions et des impacts, sanitaires.

L'Europe politique s'est dotée à ce jour d'outils puissants de connaissance et d'action. Pour le pouvoir politique, il n'est plus aujourd'hui possible d'ignorer l'enjeu que représente la pollution atmosphérique. En l'absence de connaissance parfaite sur les effets des polluants inhalés sur la santé humaine, le principe de précaution joue à plein. Cette prise de conscience des élus (qui savent désormais qu'on pourra leur reprocher dans un futur proche leur inaction d'aujourd'hui) est inégalement partagée. Malgré des discours environnementaux vertueux, les industriels n'ont pas tous mis au centre de leur préoccupation les enjeux de santé publique. Lors de la discussion de la loi sur l'air, en 1996, la ministre de l'Environnement Corinne Lepage, a dû faire face à de puissants lobbies, notamment du secteur automobile et pétrolier où l'on conteste toujours vivement les études épidémiologiques. Mais le principal frein à une politique efficace de préservation d'un air sain, n'est-il pas, paradoxalement, le citoyen lui-même ? L'abus d'utilisation de la voiture particulière, le dédain envers les transports en commun, les réticences envers les mesures restrictives de l'usage de la sacro-sainte voiture, sont autant de mauvaises habitudes difficiles à vaincre. En définitive, la qualité de l'air dépend aussi de celui qui le respire...

Un air sous haute surveillance

Les associations de surveillance gèrent des stations fixes de mesure équipées d'un ou plusieurs capteur-analyseurs fonctionnant de manière automatique en continu. Au nombre de 38 en 1999, elles employaient près de 300 personnes et géraient environ 2 000 capteurs (50 % d'augmentation en 2 ans), mesurant une dizaine de polluants indicateurs, chiffres qui vont sensiblement augmenter dans les années à venir, avec l'élargissement du nombre de polluants à surveiller. L'emplacement des stations constitue un compromis entre des impératifs pratiques et le souci de bien représenter la qualité de l'air. En

FIGURE 1-4. – LES RÉSEAUX DE SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR EN 1999



général, elles sont situées de manière à fournir des données urbaines dites de « fond » (exposition moyenne de la population) et de « proximité » (proches de sources fixes ou mobiles) ou dans des zones à forte fréquentation humaine. Y sont adjointes, notamment pour la pollution photo-oxydante, des stations de zones suburbaines et rurales où les valeurs mesurées sont habituellement plus élevées. Les données collectées par ces analyseurs sont transmises périodiquement par ligne téléphonique à une station centrale qui les enregistre, les analyse et les traite. Dans certaines régions, le dispositif de base est complété par un camion mobile et par des laboratoires réalisant des campagnes de mesures spécifiques (métaux, HAP, etc.). Les réseaux sont tous équipés de dispositifs fournissant des informations météorologiques de base (température, vent, précipitations).

Les données ainsi obtenues donnent lieu à des publications régulières à destination du grand public, des techniciens ou des scientifiques au travers des journaux locaux, de la télévision, Minitel, bulletins spécialisés. L'ADEME (qui centralise toutes ses informations dans une banque nationale de données sur la qualité de l'air, BDQA) et l'Institut français de l'environnement (IFEN) en sont destinataires. Les 58 agglomérations de plus de 100 000 habitants sont désormais en mesure de calculer l'indice de qualité de l'air Atmo. Celui-ci est diffusé quotidiennement par les associations (par un répondeur téléphonique, et parfois un site Internet) et également au plan national par le serveur Internet de l'ADEME sur 49 villes (à l'adresse <http://www.ademe.fr>).

Le rôle des associations de surveillance est non seulement de suivre l'évolution de la pollution, mais aussi de déclencher des alertes. À partir du niveau 3 (dorénavant dénommé « d'alerte »), le préfet doit prendre des mesures visant à la réduction des sources d'émission des polluants : ralentissement de certaines activités industrielles polluantes, substitution des types de combustibles (gaz, fiouls à basse teneur en soufre...), baisse des vitesses de circulation, voire limitation de la circulation aux véhicules moins polluants (la « pastille verte »). Les avis sur l'efficacité de ces mesures sont partagés. Compte tenu des délais de mise en œuvre et du poids des facteurs météorologiques dans la qualité de l'air, certains dénoncent le caractère « poudre aux yeux » de ces procédures d'alerte. Très souvent, en

effet, lorsque l'information parvient effectivement aux personnes concernées, l'épisode est déjà bien installé ou, au contraire, dépassé. Les automobilistes sont de toute façon bien obligés de rentrer chez eux le soir, et il n'a pas été clairement démontré qu'une baisse des vitesses (à supposer qu'elles soient respectées), ait un effet immédiat sur la pollution. Ces alertes sensibilisent cependant la population et ont donc un caractère « pédagogique ». Cela peut faire accepter des mesures plus fondamentales, de nature à peser effectivement sur les émissions continues de polluants.

La gestion de la qualité de l'air ne peut se limiter à une sorte de gesticulation médiatique à l'occasion des seules alertes. Les risques pour la santé sont bien plus dus aux niveaux réguliers de pollution qu'à quelques épisodes de courte durée. Un travail récent conduit en région Rhône-Alpes montre que les deux tiers de la fréquence et des coûts de la morbidité respiratoire associée à court terme aux teneurs en particules se produit pour des valeurs inférieures à 50 µg/m³, soit loin des niveaux d'alerte. Pour améliorer l'efficacité de ces dispositifs d'alerte, il est important d'anticiper au mieux les épisodes de pollution. Dans ce but, il est fait appel à la modélisation qui s'appuie sur la connaissance des épisodes précédents (météorologie et pollution), mais cette prédiction est encore malaisée, surtout pour les niveaux 3 de l'alerte, heureusement peu fréquents.

Des efforts technologiques nécessaires mais insuffisants

La France a diminué considérablement certaines émissions polluantes des sources fixes (oxydes de soufre, poussières, métaux, imbrûlés, mais également oxydes de carbone), particulièrement celles liées à la production d'énergie, du fait de son choix nucléaire. Des efforts sont largement engagés et se poursuivent, grâce à l'ADEME, pour améliorer l'efficacité énergétique des procédés industriels et artisanaux et réduire les émissions correspondantes (dépoussiéreurs, laveurs d'effluents gazeux, récupérateurs de solvants volatils).

Les actions sur les sources mobiles sont plus récentes. Les ingénieurs travaillent sur la conception des véhicules et sur les carburants, dont les effets sont immédiats sur le parc existant. Mais il faut également agir sur l'aménagement du territoire urbain, la réduction

des distances entre le travail et l'habitat, l'utilisation des transports en commun.

Des succès importants ont été enregistrés en matière de consommation de carburant depuis les chocs pétroliers, avec des conséquences positives, sur l'oxyde de carbone notamment. Les dispositifs d'épuration des effluents sont également efficaces : pot catalytique trois voies, obligatoire depuis le 1^{er} janvier 1993 pour les moteurs à essence sans plomb (qui aboutit à diminuer les émissions de CO, HC et NOx de près de 90 % à chaud, mais beaucoup moins à froid, pour les faibles parcours – au demeurant les plus nombreux dans les villes), pot catalytique deux voies (action efficace sur CO et HC) obligatoire depuis le 1^{er} janvier 1997 pour les moteurs Diesel, filtres à particules ou additifs au gazole, injection directe sous haute pression améliorant performances, consommation et réduction des émissions particulières pour les moteurs Diesel. Des mesures réglementaires ont été prises pour les carburants avec la réduction de la teneur en soufre du gasoil depuis 1996, et la suppression du plomb dans l'essence au 1^{er} janvier 2000.

Les recherches se poursuivent aussi sur le moteur à mélange pauvre en essence. En effet, les émissions d'essence (réservoir, moteur chaud, station-service) constituent jusqu'à 25 % des Composés organiques volatils d'origine automobile. Les teneurs en benzène et autres aromatiques devront également être réduites. L'introduction des bio-carburants exige que des précautions soient prises. Les esters d'alcool d'origine végétale (Diester) ou pétrolière constituent des additifs oxygénés améliorant la combustion, avec réduction nette des émissions d'oxyde de carbone et d'hydrocarbures, mais avec un impact faible sur les oxydes d'azote. Contrebalançant ces avantages, il y a en revanche formation accrue de gaz de type aldéhydes, très irritants et, pour certains, cancérogènes. Les carburants gazeux (gaz de pétrole liquéfié – GPL – ou gaz naturel véhicule – GNV) produisent de très faibles émissions. Les mesures fiscales incitatives à l'usage de ces carburants devraient permettre leur essor, auprès des particuliers et des flottes « captives » (les véhicules des services et pourquoi donc nos chauffeurs de taxis ne pourraient-ils pas, comme leurs collègues de Tokyo, se mettre au GPL ? ...). Le moteur électrique est également prometteur pour ces flottes à faible rayon de circulation, mais son

intérêt est encore limité par sa faible autonomie. Les véhicules à moteur hybride – électrique en ville, thermique sur route – offrent une solution intéressante.

Les émissions de chaque véhicule neuf ont diminué d'un facteur 10 depuis 1970. Ces acquis technologiques ne prendront véritablement leur sens que s'ils sont articulés avec des politiques publiques volontaristes, notamment en faveur des transports en commun et pour le maintien de l'habitat et des commerces dans les centres-ville. À quoi cela servirait-il de réduire de 90 % les émissions de particules des véhicules haut de gamme équipés de filtres si les politiques d'aménagement de l'espace urbain et des transports repoussent les citoyens aux revenus modestes (disposant donc de voitures souvent anciennes et du milieu ou bas de gamme) vers la périphérie ? Ces tendances multiplieraient en effet par 4 les km/passagers parcourus quotidiennement.

Si les efforts technologiques sont indispensables, ils sont insuffisants à eux seuls. Les actions concernant l'aménagement du territoire et les usages sociaux sont essentiels, bien que difficiles à mettre en œuvre tant ils remettent en cause notre organisation sociale, nos habitudes de vie et nos comportements. Les pouvoirs publics doivent mettre en œuvre les actions visant à mieux gérer le trafic (amélioration de la voirie et de l'information du public sur le trafic, rues piétonnes et limitations de circulation ou de stationnement en centre-ville, décalage des horaires de travail et des périodes de vacances) développer des transports en commun performants et abordables, modifier l'organisation urbaine en luttant contre l'étalement des périphéries des villes. Chaque individu doit changer aussi ses habitudes de déplacement, notamment en renonçant à la voiture pour les courts trajets au bénéfice du vélo ou de la marche à pied, en utilisant les transports en commun, en se convertissant au covoiturage.

Ainsi, si la pollution atmosphérique urbaine reste un motif de préoccupation sanitaire, de réelles possibilités d'action existent pour peu que se manifestent une volonté politique et une conscience citoyenne. C'est à cela que les Parisiens ont adhéré le 1^{er} octobre 1997 en laissant leur voiture au garage.

La pollution de l'air, pourtant sensiblement réduite par rapport aux situations qui prévalaient, il y a quelques décennies, continue aujourd'hui d'exercer des effets néfastes pour la santé de chacun.

Certains, plus fragiles, en subissent des conséquences plus sérieuses que la majorité des gens bien portants. Au niveau individuel, les risques encourus sont certes modestes. Mais l'impact de cette exposition au long cours est sans doute encore élevé.

Le droit à l'information sur la qualité de l'air que chacun respire est un droit fondamental. La « Directive cadre » de l'Union européenne, la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie de 1996 ont fait progresser ce droit en développant la surveillance de la qualité de l'air extérieur. Mais, au-delà de cette exigence d'information claire et honnête sur la qualité de l'air qu'il respire, le citoyen attend aussi de plus en plus de comprendre les processus de décision qui peuvent affecter son environnement, voire d'y être associé. Un grand nombre d'acteurs occupent un rôle majeur dans l'élaboration et la mise en œuvre de politiques qui façonnent notre cadre de vie et la qualité de l'air. Les collectivités territoriales sont dorénavant, en raison de la place relative importante occupée par la pollution d'origine automobile, des partenaires essentiels de l'État pour la maîtrise des émissions polluantes, au côté des industriels. Informés des dangers et de leurs sources, les citoyens ont aussi à y mettre du leur, pour faire pression sur ces acteurs quand les choses évoluent trop lentement ou pour accepter, voire susciter les mesures impliquant des modifications profondes de nos comportements polluants. À ces conditions, ils pourront conquérir un air qui ne nuise pas à leur santé et à celle de leurs proches.

La pollution de l'air intérieur

L'Homme peut être malade de son habitat. Trois à quatre cents personnes meurent tous les ans d'une intoxication à l'oxyde de carbone en France. Le laboratoire d'hygiène de la Ville de Paris estime à 2 000, le nombre annuel de victimes de la bactérie *legionella pneumophila* en France. La concentration d'agents biologiques dans des locaux chauds, humides et peu ventilés est sans doute l'une des causes majeures de l'augmentation de l'asthme au cours des vingt dernières années. Et l'Organisation mondiale de la santé considère que 30 % des immeubles de bureaux sont « malsains » soit parce que mal climatisés, soit parce qu'ils présentent des détériorations graves des matériaux de construction.

La pollution atmosphérique est généralement associée à la qualité de l'air « extérieur ». Or, dans les pays développés, la population passe plus de 80 % de son temps à l'intérieur de locaux privés ou professionnels, les bureaux du secteur tertiaire présentant des caractéristiques proches de l'habitat. Sans le savoir, l'Homme est exposé à un grand nombre de polluants à des concentrations qui peuvent être supérieures à celles rencontrées à l'extérieur. La qualité de l'air dans les bâtiments devient ainsi un réel enjeu de santé publique. Ce qui ne devrait pas être sans conséquence sur l'industrie de la construction.

L'atmosphère des habitations et bureaux constitue aujourd'hui un champ immense d'études en laboratoire et de travaux sur le terrain. Aujourd'hui, plus de 80 % des Français habitent en ville. Le secteur tertiaire, celui des services et de la vie de bureau, est aujourd'hui celui qui emploie la part la plus importante de la population active.

Sans cols, cols bleus, cols blancs ; du champ et de l'atelier au bureau. Il a fallu moins d'une génération pour que s'opère la bascule. On a construit vite des immeubles de grande hauteur climatisés. Avec promesse de grand confort thermique et d'air sain. Au bureau, un système complexe de pompes, de filtres, de gaines d'aération se charge de réguler un air constamment renouvelé. À la maison, les fenêtres en PVC, le double vitrage, la traque au interstices réduisent considérablement les échanges entre air intérieur et air extérieur. Une tendance vieille comme le choc pétrolier de 1973 où la recherche systématique d'économies d'énergie a conduit à calfeutrer les habitations au détriment d'une bonne aération. Cette contradiction perdure encore. Si aujourd'hui le prix du pétrole ne fait plus peur ce sont les changements climatiques qui imposent une parfaite étanchéité des bâtiments : économiser du CO₂. Le secteur résidentiel et tertiaire est responsable de 25 % des émissions annuelles de ce gaz à effet de serre. À Kyoto en décembre 1997, la France s'est engagée à réduire de 8 % ses émissions. Cela passe en partie par la gestion de la ventilation des maisons et des bureaux. La France aura le plus grand mal à remplir un tel objectif tout simplement parce que l'immense majorité de son bâti n'a pas été conçu selon des normes environnementales. La ville s'est étendue. Le pavillon de banlieue, devenu un mode courant d'habitat, oblige à individualiser la gestion énergétique : transports et confort thermique. Poussés parfois trop vite, les immeubles

de bureaux sont équipés de systèmes de climatisation souvent mal montés, et peu entretenus.

Les bâtiments sont construits pour durer. Mais ils vieillissent, et leurs défauts finissent toujours par apparaître. Au bout de vingt et trente ans se sont progressivement manifestés des troubles insidieux parmi les occupants de ces espaces artificiels : des maux de tête, de l'absentéisme, des fièvres et des plaintes se sont accumulés auprès de la médecine du travail. En France, le syndrome du bâtiment malsain toucherait au moins 10 % de la population active travaillant en bureau, soit plus d'un million de personnes.

Certains phénomènes sont plus brutaux. En juin 1998, une tour de refroidissement exhale un nuage de bactéries *legionellae pneumophila*. Quatre personnes se promenant sur le boulevard des Italiens (2^e arrondissement de Paris) en meurent. Les services de la préfecture de police inspectent les systèmes de climatisation du quartier pour s'apercevoir que les bactéries sont partout. Les gaines et filtres sont tellement mal entretenus que les traitements préventifs (chloration, choc thermique) ne permettent pas de détruire des micro-organismes enkystés dans d'épaisses couches de tartre. En 1999, c'est à la gare Montparnasse qu'un bâtiment lâche son nuage bactérien nocif. Un mort. Désormais, à partir de l'été 2000, les inspecteurs des installations classées grimperont sur les toits avec un masque hygiénique.

Il nous faut mieux comprendre dans quel bain nous évoluons et donc développer la mesure et la surveillance. Puis, sans doute, il faudra faire adopter au secteur du bâtiment de nouvelles règles de construction qui mettent en avant non pas seulement l'esthétique architecturale ou le confort ou encore le montant des bénéfices à réaliser, mais la santé de ceux et celles qui vont vivre et travailler des années durant entre ces murs. État des lieux.

Les locaux, un piège à polluants

La qualité de l'air à l'intérieur des locaux est fortement dépendante de l'environnement extérieur proche comme la proximité de la voirie et de la nature et de l'intensité des sources internes de polluants comme le chauffage domestique ou la production d'eau chaude. Elle est également très liée à la ventilation, à la climatisation,

aux divers humidificateurs. Le bricolage, le tabagisme, la cuisson des aliments apportent leurs lots d'émanations diverses. Certaines sources de polluants émettent de façon continue. C'est le cas des matériaux de construction ou des sols. D'autres sont plus ponctuelles comme les gaz émis lors des activités de bricolage.

La pollution de l'air extérieur pénètre dans les habitations par les fenêtres, les portes, les systèmes de ventilation et le moindre interstice. Les polluants seraient alors, en principe, les mêmes que ceux que l'on trouve à l'extérieur : dioxyde de soufre, oxydes d'azote, particules en suspension, ozone... Mais des phénomènes de filtre, de déposition ou de réactions chimiques se produisent. Ainsi, les dioxydes de soufre et d'azote sont absorbés par les cloisons et les éléments d'ameublement. Les niveaux rencontrés à l'intérieur seront donc habituellement inférieurs à ceux mesurés à l'extérieur pour ces gaz.

La maison concentre également des gaz et polluants inhérents à ses matériaux et à son ameublement. Isolants, bois et peintures utilisés lors de la construction et certaines pièces de mobiliers peuvent diffuser pendant des périodes très longues des gaz provenant de colles d'agglomérés ou de diluants. On retrouve ainsi chez soi du toluène, du benzène ou du xylène, dans la famille des composés aromatiques, et du formaldéhyde, de l'acétaldéhyde et de l'acétone pour les composés carbonylés. Des concentrations en toluène de quelques dizaines à plus de 1 000 µg/m³ ont été rencontrées dans des habitations particulièrement mal ventilées. L'amiante a (trop) longtemps été utilisé dans l'habitat sous formes de calorifugeage, joints, et éléments de fibrociment. L'utilisation de l'amiante est définitivement interdite depuis le 1^{er} janvier 1997, mais ce matériau peut persister encore dans certains endroits comme les gaines d'isolation électrique et de chauffage. La loi impose au propriétaire d'effectuer une recherche systématique des fibres d'amiante dans les locaux et de prendre des dispositions pour éviter qu'elles ne se dispersent dans l'environnement, notamment à l'occasion de travaux d'entretien. Le retrait de l'amiante doit être effectué par des services habilités et dans des conditions très strictes de protection des travailleurs et de l'environnement.

Le formaldéhyde est un polluant fréquemment présent dans les locaux parce qu'il est utilisé dans les colles (anciennes mousses urée-formol pour l'isolation, agglomérés, colles des moquette...), les produits

de désinfection et de nettoyage et dans certaines peintures. On le trouve aussi en quantité dans la fumée de tabac (voir le tableau 1-2.). Son évaporation augmente avec la température et l'humidité. On ressent souvent ses effets dans les bâtiments neufs ou possédant du mobilier neuf. Ce gaz est un puissant irritant des voies respiratoires. L'OMS préconise une concentration maximale admissible de 0,1 mg/m³ d'air. Pour diminuer sa teneur dans les locaux, on peut diminuer la température ambiante, ou appliquer des peintures imperméables. Mais rien n'est plus efficace qu'une bonne ventilation.

TABLEAU 1-2. - CONCENTRATIONS EN FORMALDÉHYDE
DANS DIVERS ENVIRONNEMENTS (µg/m³)

Air extérieur	1-20
Air intérieur	
Sans fumeur	30-60
Présence de fumeurs	50-350
Fumée de tabac	60 000-130 000

Les encaustiques, les aérosols de tous genres, les colles, les peintures peuvent générer des quantités importantes de composés organiques volatils (COV). Leurs concentrations dans l'air intérieur sont variables et habituellement supérieures de 2 à 10 fois celles de l'air extérieur. Pour autant, les concentrations restent relativement faibles par rapport aux valeurs limites d'exposition admises dans les ambiances de travail (de 100 à 1 000 fois moins élevées). Chez l'adepte du bricolage, ces émanations peuvent provoquer à terme des effets sur la santé allant du simple inconfort à des symptômes plus aigus tels que des irritations (peau et muqueuses), maux de tête, fatigues... Les éthers de glycol, composés utilisés dans un très grand nombre de produits domestiques et industriels peuvent être particulièrement nocifs (voir annexe p. 297).

L'homme est aussi un pollueur naturel. Sa seule présence au sein d'un local est génératrice de gaz carbonique et d'humidité provenant de sa respiration, d'odeurs corporelles ou de productions épidermiques. Les concentrations en gaz carbonique augmentent avec le

nombre d'occupants et la durée de l'occupation des locaux. Une pièce vide contient de 500 à 700 mg/m³ (300-400 ppm) de CO₂; une pièce occupée de 900 à 1 900 mg/m³ (500-1 000 ppm). C'est à partir de 1 800 mg/m³ (1 000 ppm) que des symptômes apparaissent (sommolence, sensation de manque d'air...). Une simple ouverture des fenêtres permet de régler le problème.

Première cause de mortalité par toxique en France, le monoxyde de carbone (CO) est un polluant très dangereux à l'origine encore aujourd'hui de plus de 8 000 intoxications par an dont 300 environ sont mortelles. Il s'agit d'un gaz incolore, inodore, qui se diffuse très facilement dans l'air. Le CO est produit lors d'une combustion incomplète ou lorsque les gaz de combustion sont refoulés dans le foyer. Les appareils d'usage quotidien susceptibles de provoquer des dégagements importants de monoxyde de carbone sont essentiellement les chauffe-eau à gaz mal réglés ou mal raccordés, les chaudières à gaz, bois, mazout et charbon, et l'ensemble des appareils mobiles de chauffage (brasero, four à gaz, réchauds...). Le fonctionnement d'un moteur de voiture ou d'un groupe électrogène dans un local clos entraîne aussi une production de CO très importante. Ce gaz pénètre par les voies aériennes dans la circulation sanguine où il présente une affinité 250 fois plus élevée pour l'hémoglobine que l'oxygène. Il est donc capté préférentiellement, aux dépens de l'oxygène, et forme la carboxyhémoglobine (HbCO) provoquant une diminution de l'apport en oxygène vers les tissus (hypoxie). La gravité de l'intoxication est fonction de plusieurs paramètres tels que l'âge des personnes exposées (enfants et personnes âgées sont très sensibles), - leur état de santé préexistant (les insuffisants respiratoires ou coronariens sont particulièrement fragiles, ainsi que les femmes enceintes, porteuses d'un embryon qui a un besoin vital d'oxygène), ou la quantité de CO inhalée. L'intoxication à l'oxyde de carbone va des simples maux de tête au coma profond, voire à la mort. Il existe des cas d'intoxication chronique très trompeurs où il est souvent difficile de trouver la cause des maux de tête, états de fatigue, vomissements, états dépressifs qu'ils provoquent. Une étude réalisée à Grenoble il y a quelques années avait montré que 30 % des logements de certains quartiers présentaient un risque de présence de CO du fait d'équipements défectueux. Pour éviter les intoxications par

le monoxyde de carbone, il faut veiller au bon entretien des appareils de chauffage et de production d'eau chaude. Il ne faut jamais obstruer les bouches d'aération des pièces dans lesquelles se trouve un appareil de chauffage.

La source majeure de pollution de l'air à l'intérieur des locaux est le fumeur. La combustion du tabac dégage une fumée composée de très fines particules et de gaz très divers. Plusieurs milliers de composants ont pu être identifiés. Outre le monoxyde de carbone, on distingue cependant les goudrons qui contiennent des hydrocarbures tels que le benzopyrène ou les nitrosamines dont le pouvoir cancérogène est bien connu, les substances irritantes telles que l'acroléine, l'ammoniac ou encore les oxydes d'azote. La nicotine, enfin, exerce des effets cardiovasculaires tels que l'accélération du pouls, l'élévation de la tension artérielle, et des troubles du rythme cardiaque. La présence de fumeurs dans des enceintes closes ne nuit pas seulement au fumeur lui-même, mais à l'ensemble des personnes présentes. Les enfants dont les parents fument en leur présence sont deux fois plus souvent victimes de bronchites et de pneumonies. Ils sont plus fréquemment asthmatiques. Selon un rapport de l'Académie de médecine, le tabagisme passif est responsable de 2 500 à 3 000 décès par an en France. Il remplit généreusement les salles d'attente des pédiatres.

Un mauvais entretien, un surpeuplement et une mauvaise ventilation des locaux peuvent entraîner une multiplication des biocontaminants dans l'air. Cette forme de pollution biologique est constituée par les micro-organismes vivants (virus, champignons microscopiques, bactéries) en suspension dans l'air, par les toxines issues des bactéries et des champignons et par les allergènes produits par les animaux (chats, blattes, acariens...) ou les champignons (moisissures) qui peuplent nos intérieurs. Ces micro-organismes sont apportés par les personnes et animaux vivants dans les locaux mais aussi par les milieux humides (réservoirs pour les plantes, le système de conditionnement d'air...), les poussières (surfaces des sols, textiles, vêtements...). Leur prolifération est favorisée par une hygrométrie de plus de 70 % et par une température élevée. Les *legionella* prolifèrent très rapidement dans une ambiance dont la température est comprise entre 25 °C et 45 °C ce qui est le cas dans les circuits d'eau sanitaires ou d'aéro-réfrigérants (climatisation). En l'absence de valeurs limites

d'exposition, on considère en France qu'une concentration inférieure à 1 000 bactéries par litre d'air n'entraîne pas de risque accru pour la population générale.

Ces divers biocontaminants sont responsables de réactions allergiques et irritatives, de maladies infectieuses et de problèmes respiratoires pouvant être importants. On leur attribue une responsabilité importante dans l'augmentation de la fréquence de l'asthme dans les pays développés. Les champignons et moisissures se reproduisent en formant des spores d'un diamètre compris entre 2 et 20 microns, qui sont libérées dans l'air. Ces spores ne germeront qu'en présence d'humidité et de substances organiques, qui constituent leur nourriture. Certains (*Aspergillus* et *Penicillium*) peuvent rester viables plus d'une dizaine d'années. Ils se présentent sous forme de tâches de moisi et présentent une odeur caractéristique de champignon. Les moisissures sont susceptibles d'engendrer des infections, des allergies et des pneumopathies. Plusieurs études font état de leur possible participation à l'apparition du syndrome des bâtiments malsains. Les allergènes animaux ont pour principales origines les animaux domestiques (chats, chiens, oiseaux, rongeurs...), les blattes et les acariens. Ils peuvent être responsables d'allergies affectant des personnes prédisposées. Entre 17 % à 48 % de la population est affectée par des pathologies allergiques de tous genres. Parmi ces allergènes, les acariens jouent un rôle majeur. 70 % à 80 % des asthmes allergiques chez l'enfant et le jeune adulte sont liés aux allergènes d'acariens. Ces petits insectes se nourrissent de cellules de peau ou squames émis par l'homme et autres animaux. Ils se développent dans des endroits chauds et humides. La poussière du matelas est le principal réservoir d'allergènes d'acariens, mais les tapis et moquettes, la poussière de canapés, de chaises capitonnées, de fauteuils et de vêtements constituent aussi des réservoirs importants. Lors des activités ménagères, les poussières de maison sont remises en suspension, et l'on retrouve dans l'air, les allergènes des acariens portés par des particules en suspension de grande taille (plus de 10 µm). Les teneurs en acariens sont nettement plus faibles dans les maisons en altitude (Briançon moins qu'Orange ou Montélimar), dans les zones fraîches et sèches. Les animaux domestiques produisent des allergènes spécifiques présents dans la salive, les glandes sébacées, le pelage et les squames.

25 % de la population générale est sensibilisée à l'allergène du chat qui perdure dans la maison six mois après l'éviction de l'animal.

Les sources de pollution dans la maison

Le chauffage est potentiellement une source importante de pollution, tant au niveau de l'appareil lui-même qu'au niveau des conduits d'évacuation des gaz. Les intoxications à l'oxyde de carbone sont encore très fréquentes en France. Les cheminées équipées d'un insert et d'un système de récupération de chaleur posent des problèmes d'évacuation des gaz qui sont en partie renvoyés dans l'appartement entraînant un enrichissement progressif en gaz de combustion et en particules. Les autres dispositifs ne posent pas de problèmes particuliers sauf en cas de refoulement des gaz dû à un mauvais tirage (conditions météorologiques, conduit d'évacuation mal placé ou trop sinueux). Les cuisinières à gaz libèrent des polluants tels que les oxydes d'azote et de nombreux composés organiques volatils (formaldéhyde et acétaldéhyde en particulier). Seule une bonne ventilation permet l'élimination de ces gaz. Des pics de $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à $2\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 ont été trouvés dans des cuisines mal ventilées ! La cuisson des aliments, et principalement les fritures, génère divers composés organiques irritants, dont l'acroléine. La cuisinière au gaz émet des oxydes d'azote. Un brûleur au gaz allumé pendant 20 minutes entraîne une concentration en oxyde d'azote de $720 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et de $540 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en dioxyde d'azote.

Les travaux de bricolage effectués sans protection peuvent être à l'origine d'émissions très nettement supérieures à celles que l'on peut rencontrer sur les lieux de travail où des consignes très strictes d'utilisation sont imposées. À la maison, il n'existe aucune protection ni panneau invitant à la vigilance. Quelques conseils pratiques. Le stockage des produits de bricolage devra se faire dans un espace spécialement réservé à cet effet. Un système de renouvellement d'air spécifique et à fort débit devra être prévu. Les activités de bricolage se feront à l'extérieur de l'appartement et au minimum dans des pièces fortement aérées.

La ventilation des locaux est un élément de sécurité et de confort capital. Toute pièce habitable doit être pourvue d'une ouverture vers

l'extérieur. Les pièces de service (couloirs par exemple) doivent être pourvues d'un ouvrant ou à défaut d'un tirage mécanique. Un arrêté de mars 1982 fixe les conditions dans lesquelles le renouvellement d'air doit être appliqué. S'il revient aux installateurs de respecter ses prescriptions, rien n'oblige à l'entretien par le propriétaire, en l'absence de dispositions concernant les contrôles techniques périodiques dans l'habitat. L'utilisation d'une climatisation ou d'un système de renouvellement d'air (souvent dans les locaux de travail ou recevant du public, beaucoup plus rarement au domicile) peut entraîner une multiplication de germes (microbes, moisissures...) dans l'air en cas de mauvais entretien ou de défaut de conception. Inversement, si le système de conditionnement d'air est bien entretenu, le confort des occupants est nettement amélioré car température et humidité sont diffusées aux normes optimales. Les particules atmosphériques provenant de l'extérieur devraient être retenues par les systèmes de filtres et d'épuration. Malheureusement, on trouve encore des systèmes mal installés avec une prise d'air malencontreusement située et polluée par des aérocontaminants chimiques ou biologiques provenant de l'extérieur. Un défaut de filtration dans certains humidificateurs permet la colonisation rapide des conduits par divers micro-organismes. Outre des troubles allergiques et infectieux, les médecins rencontrent chaque jour des patients se plaignant d'irritations des muqueuses, des yeux, du nez et de la gorge, de céphalée et de léthargie. À l'interrogatoire, ces symptômes semblent bénins mais sont vécus comme très gênants. Ils constituent le syndrome des bâtiments malsains (SBM). On rencontre ce syndrome dans toutes les villes du monde occidental parmi les personnes travaillant dans des bureaux modernes dont les conditions environnementales sont artificielles (éclairage, ventilation, température, vibrations...). Un grand nombre d'études ont montré un risque plus important d'apparition des symptômes associés au SBM dans les immeubles avec conditionnement d'air que ceux avec ventilation naturelle. Jusqu'à 25 à 35 % des personnels se plaignent de ces troubles désagréables, mal définis et souvent qualifiés de psychosomatiques. Pourtant, ce malaise est bien le signe d'une mauvaise conception des systèmes de climatisation.

Une réglementation à compléter

C'est après le premier choc pétrolier, en 1973, que les chercheurs et les organismes concernés se sont préoccupés de la pollution de l'air intérieur. En effet, la recherche systématique d'économies d'énergie qui a suivi ce choc a conduit à « calfeutrer » les habitations au détriment d'une bonne aération. De plus l'utilisation croissante de matériaux synthétiques et de produits d'entretien ou de bricolage entraîne des effets sur la santé dont tous ne sont certainement pas encore connus. D'après le Conseil supérieur d'hygiène publique de France la gestion de la qualité de l'air à l'intérieur repose sur trois volets : la réglementation, la maîtrise des niveaux de pollution et l'information du public.

La réglementation fixe des conditions de fonctionnement des appareils de combustion domestiques ne présentant pas de risque pour la santé des occupants. Des limites d'émissions en oxyde de carbone sont précisées pour chaque type d'appareil (0,1 % pour les chaudières à gaz et les appareils de production d'eau chaude, 0,12 % pour les chaudières à fioul...), ainsi que des conditions de raccordement vers des conduits d'évacuation des fumées et de taux de renouvellement d'air dans les différentes pièces de l'habitat. La ventilation des locaux est réglementée par les arrêtés du 30 janvier 1969 et du 22 octobre 1969. Le premier impose des débits de renouvellement d'air de 120 m³/h dans les cuisines et de 30 m³/h dans les WC et salles de bain, le second instaure un renouvellement d'air de 1 vol./h pour les pièces principales. Un observatoire de la qualité de l'air intérieur des bâtiments a été mis en place récemment. Il est destiné à évaluer le risque global lié à l'exposition aux polluants présents dans l'air des logements et des lieux de travail. Ce dispositif vient compléter les instances déjà constituées et concernant l'amiante et le radon.

L'interdiction de fumer dans tous les espaces fermés accueillant du public ou qui constituent des lieux de travail était déjà prévue par l'article 16 de la loi Évin du 9 juillet 1976. La loi du 1^{er} novembre 1992 pose le principe qu'il est interdit de fumer dans les lieux affectés à un usage collectif et dans les transports collectifs, sauf dans les emplacements prévus à cet effet. Cette interdiction s'applique aussi aux lieux non couverts fréquentés par les élèves dans les établissements d'enseignement publics ou privés. Alors que les lois précé-

dentes fixaient les lieux où il était interdit de fumer (autorisation de fumer partout sauf...), la loi Évin renverse la situation. Elle précise qu'il est interdit de fumer dans l'ensemble des lieux publics ou recevant du public sauf dans des locaux adaptés. Cette loi, très mal supportée au début par les *lobbies* qui ont essayé de dresser contre elle les fumeurs semble aujourd'hui mieux admise. En effet, malgré sa sévérité apparente, elle laisse un espace de liberté aux fumeurs : les emplacements réservés. On ne manquera pas de s'étonner du manque d'empressement des pouvoirs publics à la faire respecter dans les bars et restaurants.

La pollution de l'air dans l'environnement professionnel

Selon l'Organisation internationale du travail (OIT), chaque année, les traumatismes et les maladies liés au travail provoquent 1,1 million de décès dans le monde, c'est-à-dire à peu près autant que le paludisme. Le coût des maladies et des traumatismes professionnels a été estimé en 1997 à 4 % du PNB mondial.

L'atmosphère sur le lieu de travail : un risque gravement sous-estimé

Les inégalités sociales en matière de santé s'expliquent en partie par l'exposition aux risques professionnels. À 35 ans, les cadres peuvent espérer vivre 44 ans supplémentaires, contre une espérance de vie de 35,8 ans pour les manœuvres. À 60 ans, un cadre peut compter atteindre 81,7 ans et un manœuvre 77,1 ans seulement. Dans les pays industrialisés environ 5 % de tous les décès par cancer sont d'origine professionnelle. En France, cela représente au moins 5 000 décès par an. Cette proportion s'élève à 20 % pour les catégories ouvrières, ce qui est tout à fait considérable. Or une part importante de l'exposition à des cancérogènes en milieu professionnel se fait par la voie atmosphérique. Environ 4 cancers d'origine professionnelle sur 5 concernent le système respiratoire, notamment le poumon et la plèvre. La qualité de l'air en milieu de travail est à l'origine de cancers, d'asthme, de fibrose pulmonaire et d'insuffisance respiratoire ainsi que d'atteintes de l'appareil neurologique par les solvants, des

cellules du sang ou de la moelle osseuse par le benzène, de la reproduction ou du système immunitaire par les éthers de glycol.

Le poids de la pathologie d'origine professionnelle est considérable, très sous-estimé, socialement inégalitaire et économiquement coûteux. Mais on connaît mal l'importance de ce risque, ce qui constitue un obstacle à la mise en œuvre d'une politique de prévention efficace. En dehors des chiffres concernant les accidents du travail (pour lesquels il y aurait cependant à redire sur leur validité et interprétabilité), on ne dispose que de très peu d'indicateurs fiables sur les conditions de travail, et sur leurs effets sur la santé. Les statistiques de maladies professionnelles, outre leur champ limité, reflètent très mal la fréquence réelle des maladies liées au travail.

L'activité professionnelle est également susceptible de générer des risques pour l'ensemble de la population exposée de façon « passive ». Les exemples sont nombreux : amiante (proximité d'installations industrielles ou de chantiers de désamiantage, fréquentation de locaux contenant de l'amiante qui peut être mobilisé lors d'interventions de maintenance), bruit, pollution de l'air, de l'eau ou des aliments par des sources industrielles, etc.

Dans le monde du travail, l'exposition aux risques est plus forte que partout ailleurs et plus facile à évaluer. Les études sur les populations exposées directement à des nuisances professionnelles, outre leur intérêt propre, ont donc toujours constitué un excellent modèle pour la connaissance des risques dans la population générale exposée aux mêmes nuisances. Ainsi, la quasi-totalité des agents cancérogènes pour l'homme ont, à l'origine, été identifiés dans des populations exposées professionnellement. Les estimations des risques de l'amiante proviennent exclusivement des données observées en milieu professionnel (voir annexes, p. 281).

L'enquête SUMER (surveillance médicale des risques professionnels)⁵, réalisée en 1994 à l'instigation du ministère de l'Emploi et de la Solidarité auprès de 48 000 salariés tirés au sort par les médecins du travail, a dressé un tableau qualitatif minutieux des principales

circonstances d'exposition. Les salariés continuent à subir des contraintes physiques importantes à leur poste de travail. Outre les contraintes articulaires (répétition d'un même geste à cadence élevée, position forcée d'une ou plusieurs articulations), 27 % des salariés sont exposés au bruit (bruit supérieur à 85 dbA, voir p. 188), et 19 % aux nuisances thermiques (intempéries, températures inférieures à 15 °C ou supérieures à 24 °C, milieu humide), tout particulièrement dans les secteurs de l'industrie, de la construction et de l'agriculture.

Quatre millions de salariés sont exposés aux agents chimiques, soit un tiers de la population active, principalement dans les secteurs de la construction, dans certains secteurs de l'industrie (chimie, caoutchouc et plastique, métallurgie et transformation des métaux, automobile, produits minéraux, équipement mécanique, bois et papier), dans l'agriculture et la santé, avec une forte disparité selon les catégories socioprofessionnelles. 54 % des ouvriers sont exposés contre 8 % des cadres. Les émanations nocives sont liées aux procédés de production et aux insuffisances des dispositifs de prévention (aspiration de l'air contaminé, aération...). L'intensité de cette exposition est jugée par les médecins du travail qui ont réalisé l'étude à peine supérieure à celle de l'exposition de la population générale dans 40 % des cas, mais elle est forte ou très forte dans 13 % des cas. Les ciments, les poussières de bois, les poussières végétales et animales, les fumées de vulcanisation, de combustion et de soudage, les goudrons et brais de houille et des molécules comme les isocyanates et prépolymères sont les agents chimiques auxquels les salariés sont les plus souvent exposés. Ces produits, bien que largement diffusés dans la population salariée, ne sont pas anodins : certains ont un pouvoir allergisant important (isocyanates et prépolymères, poussières animales et végétales), d'autres sont cancérogènes pour l'homme (poussières de bois, fumées de vulcanisation et de soudage, goudrons et brais de houille).

Au total, un million de personnes, sont exposées à un ou plusieurs produits potentiellement cancérogènes (produits du groupe 1 du Centre international de recherche sur le cancer), avec un niveau d'exposition fort à très fort pour 14 % des salariés exposés⁶ qui sont

5. « Expositions aux contraintes et nuisances dans le travail », Enquête SUMER 94, n° 5-6/98, ministère de l'Emploi et de la Solidarité, 1999, *Revue « Dossiers statistiques de la DARES »*, n° 9805, 20 p. et Dossiers de la DARES à La Documentation française, juillet 1999, 150 p.

6. « L'exposition aux produits cancérogènes dans le travail », Enquête SUMER 94, *Documents pour le médecin du travail*, n° 75, 3^e trimestre 1998, p. 265 à 272.

à 77 % des ouvriers. Cinq produits cancérogènes sont à eux seuls responsables de 90 % des expositions (tableau 1-3) : les huiles minérales (la moitié des expositions), suivies par les poussières de bois (18 %), l'amiante (9 %), les goudrons ou brais de houille (6 %), et le benzène (6 %). Les mécaniciens automobiles (64 %), les ouvriers du bois (48 %) et les ouvriers d'entretien en mécanique (42 %) sont les professions les plus fréquemment exposées. Certains procédés de travail génèrent des substances cancérogènes qui ne sont pas toujours identifiées comme telles dans le monde du travail, comme les huiles minérales et les poussières de bois, produits banalisés pour lesquels les mesures de prévention sont moins souvent mises en œuvre. Les équipements de protection sont parfois inadaptés. Des protections collectives comme la ventilation n'existent que dans un quart des

TABLEAU 1-3. – EXPOSITION DES SALARIÉS AUX PRODUITS CHIMIQUES
(ENQUÊTE SUMER 1994)

Produits chimiques les plus cités	
Famille de solvants	Salariés exposés
Solvants pétroliers	14 %
Solvants halogénés	12 %
Solvants alcool	14 %
Solvants divers	10 %
Éthylène glycol et dérivés	5 %
Benzène	1,5 %
Autres	
Tensioactifs	18 %
Bases fortes	18 %
Acides forts	14 %
Hydrocarbures pétroliers utilisés comme carburant	10 %
Fumée de soudage	9 %
Ciments	8 %
Aldéhydes	8 %

expositions aux différents produits cancérogènes. SUMER montre que dans 25 % des situations à risque la maîtrise de l'exposition peut être considérée comme défaillante, soit parce que les expositions associent des durées et intensités largement supérieures aux normes autorisées (13 % des situations), soit parce que le médecin du travail n'a pas pu décrire cette exposition (12 %). Ces estimations sont confortées par les résultats du système d'information sur l'exposition professionnelle aux agents cancérogènes en Europe (programme Carex) qui repose sur des comparaisons internationales et des avis d'experts d'hygiène industrielle pour les différentes branches d'activité⁷. Ces divers travaux démontrent la nécessité de renforcer les efforts de prévention vis-à-vis du risque chimique.

Si l'enquête SUMER a apporté de très précieuses informations qualitatives, la situation est beaucoup plus obscure sur les niveaux d'exposition des personnes. Les données ne sont pas toujours accessibles voire inexistantes. Le danger est souvent nié.

• La surveillance des ambiances de travail

La surveillance de l'atmosphère des lieux de travail comporte de nombreuses analyses chimiques : 69 000 études de métrologie ont été pratiquées en 1997 par les services de médecine du travail. 5 000 enquêtes ont été pratiquées par des organismes extérieurs. Les mesures de bruit, de température, d'hygrométrie, d'éclairage, de polluants gazeux, et les prélèvements de poussières sont les actes les plus fréquemment effectués. Les partenaires de l'entreprise (employeurs, Comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail [CHSCT]) ou les médecins du travail ont demandé 1 670 mesures et recherche de fibres d'amiante à un organisme extérieur, souvent les laboratoires des services prévention des Caisses régionales d'assurance maladie et ceux de l'INRS. COLCHIC (collecte des données de chimie) est une base de données, constituée depuis 1987, qui regroupe ainsi 400 000 résultats

7. Carex. Système international d'information sur l'exposition professionnelle aux agents cancérogènes en Europe. Résultats des estimations pour la France pendant les années 1990-1993. Cahiers et notes documentaires, *Hygiène et sécurité du travail*, INRS, n° 176, 1999.

de mesures d'exposition à 1 000 substances, par secteur d'activité professionnelle ou par poste de travail. Quelques résultats par secteur d'activité et par polluant ont été publiés par l'INRS, notamment pour le BTP (cf. tableaux 1-4. et 1-5.) mais les données concernant la qualité des ambiances de travail ne sont pas directement accessibles au public. Elles restent à usage interne des agents de la Sécurité sociale et des organismes de prévention des CRAM. Ce qui est choquant. Pour connaître la qualité de l'air dans votre ville, il suffit de faire le numéro de téléphone direct du réseau de surveillance ou de se brancher sur son site Internet. Pour l'air respiré huit heures par jour sur le lieu de travail, l'information est beaucoup plus difficile à obtenir

TABLEAU 1-4. – EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES
À DES PRODUITS CANCÉROGÈNES DANS DIVERS SECTEURS D'ACTIVITÉ*

	Benzène (16)	Benzo(a)pyrène (150)	Nickel (1)	Chrome (0,5)	Cadmium (0,05)
Production d'aluminium (maintenance et réparation)	–	479 [30-2 300]	–	–	–
Sidérurgie (travail en cokerie)	–	3 270** [20-19 600]	–	–	–
Transformation des métaux (soudage)	–	–	0,3 [0,0005-41]	0,4 [0,0005-46]	0,02 [0,0,05]
Réparation automobile	2,7 (16) [0,1-113]	–	–	–	–

Source : base de données COLCHIC⁸.

8. Communication personnelle de l'INRS, janvier 2000.

* Les résultats sont exprimés en moyenne [et étendue des valeurs]. Les unités sont des mg/m³ pour le benzène et les métaux, et en ng/m³ pour le BaP. La Valeur Limite Exposition (VLE) est indiquée entre parenthèses sous le nom de la substance chimique (valeur recommandée par la CNAM pour le BaP).

** Pour cette activité, certains travailleurs peuvent avoir une protection respiratoire individuelle, ce qui réduit l'exposition.

pour des raisons qui ne sont pas convaincantes. Aujourd'hui, un salarié ne peut avoir connaissance des analyses d'air effectuées sur son lieu de travail (voir en annexe le tableau des expositions professionnelles à des produits cancérigènes).

TABLEAU 1-5. – PRINCIPAUX POSTES DE TRAVAIL ET NIVEAUX D'EXPOSITION
AU PLOMB (EN µg/m³) DANS LA BRANCHE D'ACTIVITÉ DU BTP⁹
(354 MESURES D'EXPOSITION)

Postes de travail	Étendue	Moyenne	VME
Soudage aux gaz, manuel en général	1-0 800	942,2	150
Machine à meuler	13-4 600	1 030,2	150
Chalumeau oxycoupeur sans poudre	4-7 342	884,5	150

La prévention des risques professionnels et ses acteurs

La gestion du risque atmosphérique en milieu de travail combine une incitation systématique à une véritable prévention qui passe notamment par l'emploi des substances les moins toxiques, le captage des émissions à la source, le contrôle du recyclage, la maintenance des installations, et par le respect des « valeurs limites d'exposition », dont le principe a été élaboré voici une cinquantaine d'années. Une valeur limite d'exposition représente la concentration d'un produit que peut respirer une personne sans risque d'altération pour sa santé et/ou celle de sa descendance, même si l'exposition est répétée régulièrement tout au long de la vie professionnelle. On distingue les « valeurs limites d'exposition » proprement dites (VLE), qui ne doivent jamais être dépassées, même brièvement en raison d'effets toxiques immédiats, et les « valeurs limites de moyenne d'exposition » (VME), qui

9. Revue de médecine du travail, n° 4, 1997, p. 176-184.

fixent un niveau d'exposition à ne pas dépasser, en moyenne, pendant une période généralement fixée à huit heures par jour, durée quotidienne habituelle de travail.

En France, rares sont les substances disposant de valeurs limites réglementaires : amiante, benzène, gaz de fumigation (bromométhane, cyanure d'hydrogène et hydrogène phosphoré), chlorure de vinyle, plomb métallique et ses composés, silice, poussières. En revanche, en 1999, 549 substances avaient leur valeur limite indicative, déterminée depuis 1991 par un « Groupe scientifique pour la surveillance des atmosphères de travail » sous la direction du ministère du Travail (voir annexes, p. 269). Au niveau de l'Union européenne, une récente directive fixe les valeurs limites d'exposition professionnelle pour quelques agents cancérogènes et mutagènes : le benzène ($3,25 \text{ mg/m}^3$), le chlorure de vinyle monomère ($7,77 \text{ mg/m}^3$ ou 3 ppm) et les poussières de bois durs (5 mg/m^3)¹⁰.

Les « normes » de qualité de l'air applicables en milieu professionnel sont extrêmement différentes de celles, moins nombreuses, qui sont fixées pour l'air ambiant. Alors que la Directive européenne du 24 avril 1999 sur l'air ambiant arrête une valeur limite pour les particules atmosphériques à $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ en moyenne annuelle (et 40 en moyenne journalière), la valeur limite d'exposition en milieu professionnel (sur 8 heures) est de $5\,000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$! Pour le plomb, ces valeurs sont respectivement de 0,5 et $150 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Pour justifier ces écarts, on explique généralement que les salariés perçoivent un revenu des situations de travail, alors que la population générale ne serait pas « intéressée » à la pollution. Par ailleurs, celle-ci est susceptible de comporter des personnes fragiles (malades, jeunes enfants, vieillards), alors que les travailleurs bénéficient d'une sélection à l'embauche et d'une surveillance médicale. Mais ces arguments ne peuvent faire admettre des écarts aussi considérables. Sans prétendre rendre les normes similaires, sans doute faut-il tendre vers une plus grande cohérence des dispositifs de gestion des risques, car ces risques sont la résultante de l'air respiré tout au long de la journée et tout au long

de la vie. Le décloisonnement des espaces au travail et hors travail, est bien une nécessité de santé publique. L'entreprise est-elle un monde à part ?

Quelques grandes étapes vont aboutir à la mise en place du dispositif de prévention des risques professionnels actuel. La loi organise à compter du 9 avril 1898 la *réparation des accidents du travail* sur une base qui reste identique aujourd'hui. En 1906, le ministère du Travail est créé. Le code du travail, créé par la loi du 26 novembre 1912, fixe pour la première fois les *principes généraux de salubrité des locaux et de protection des travailleurs*. C'est le 1^{er} octobre 1913 qu'un décret rend obligatoire la *réparation des maladies professionnelles*.

En 1934 le contrôle de certaines catégories de travailleurs en situation de risques particuliers est rendu obligatoire. En 1937 l'inspection médicale du travail est créée. La loi du 11 octobre 1946 relative à l'organisation des services médicaux du travail constitue le texte de base de la médecine du travail, et reste valable de nos jours. Parallèlement, l'adoption de la loi des 11 et 30 octobre 1946 organisant la branche accident du travail-maladie professionnelle (AT-MP) de la Sécurité sociale propose d'amorcer une véritable généralisation de la protection de la santé en milieu de travail.

Les premiers acteurs dans la prévention des risques professionnels appartiennent aux entreprises. L'employeur est responsable de la sécurité et de la santé des travailleurs qu'il emploie. Les travailleurs ont une responsabilité individuelle vis-à-vis de leur propre sécurité. Ils peuvent agir collectivement pour la prévention des risques au sein des instances représentatives du personnel créées par la loi (délégués du personnel et membres des CHSCT). Les agents, techniciens ou ingénieurs de sécurité à qui l'employeur confie la tâche d'organiser la sécurité dans l'entreprise et d'assurer le respect des obligations réglementaires remplissent un rôle complémentaire. Le médecin du travail se voit confier par l'employeur, comme la loi l'y oblige, la surveillance des travailleurs vis-à-vis des risques d'atteintes à la santé du fait du travail. Il conseille l'employeur et les salariés, pour la prévention. Comme pour ce qui a trait à la surveillance des expositions professionnelles, les nombreuses données sur la santé au travail collectées par les services de médecine du travail ne sont pas valorisées. Au contraire de la Grande-Bretagne où, depuis 1973, se déroule la

10. Directive 1999/38/CE du Conseil du 29 avril 1999 modifiant pour la deuxième fois la directive 90/394/CEE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérogènes au travail, et l'étendant aux agents mutagènes.

surveillance longitudinale d'un panel de 60 000 travailleurs dans le cadre de la *Labour Force Survey - LFS* et, depuis 1971 la surveillance longitudinale de 1 % des sujets du National Health Service (*OPCS Longitudinal Study*).

En dehors de l'entreprise, les services extérieurs du ministère en charge du Travail (Direction du travail, Inspection du travail), les services de l'assureur du risque professionnel (risque accident du travail et maladie professionnelle) les services prévention des CRAM et l'INRS) contribuent également à la prévention des risques professionnels (lire en annexe, les organismes de gestion des maladies professionnelles).

Risques sous-estimés, systèmes d'informations sous-dimensionnés et à certains égards archaïques et peu transparents (ce qui contribue directement à la sous-estimation des risques), acteurs nombreux, divisés et engagés dans des relations de pouvoir où la santé est parfois instrumentalisée ou au contraire évacuée, culture politique faisant du monde du travail un domaine où les règles de la citoyenneté sont souvent abandonnées au vestiaire : voici quelques traits distinctifs du dossier des risques liés au travail. Aujourd'hui encore, beaucoup de personnes, surtout parmi les moins qualifiées, perdent encore leur vie à la gagner...

Les maladies professionnelles en France : sous-déclaration, non-reconnaissance et disparités régionales

Les données statistiques présentées ici sont relatives aux salariés du régime général de la Sécurité sociale qui regroupe environ 80 % des salariés. Créé par la loi du 25 octobre 1919, le système de réparation actuel s'est surtout développé à partir du 31 décembre 1946 (le nombre de tableaux est passé de 26 en 1946 à 106 à ce jour). Neuf ans plus tard, les maladies professionnelles (MP) reconnues atteignaient un régime de croisière avec environ 4 000 victimes par an officiellement recensées. La première modification sensible du nombre d'affections reconnues est observée en 1983-1984, suite à un changement significatif des critères de prise en compte des surdités professionnelles (mai 1981). En trois ans, les surdités reconnues sont pratiquement 5 fois plus nombreuses, puis l'effet s'atténue. La seconde modification importante s'amorce en 1991-1992. Elle est

due à une meilleure prise en charge des affections périarticulaires provoquées principalement par des gestes répétitifs. Depuis les affections reconnues n'ont cessé d'augmenter. En 1995 leur nombre est pratiquement le double de la valeur moyenne des MP reconnues de 1955 à 1990. Un total de 9 906 pathologies ont été indemnisées, en 1996¹¹. Le nombre de décès entraînés par les maladies professionnelles reconnues est en très forte hausse mais demeure artificiellement faible : l'augmentation est de 43,2 % de 1995 (67 décès) à 1996 (96 décès) et a plus que doublé depuis 1991 (45 décès). 50 des 96 décès de 1996 concernent le tableau n° 30 (amiante), à la suite d'une nouvelle modification des conditions de réparation du mésothéliome. Les atteintes dues à l'amiante augmentent donc de manière importante depuis le début des années 1990 du fait des temps de latence relativement élevés des atteintes dites bénignes et des affections cancéreuses. L'ampleur de ces atteintes professionnelles est cependant très mal reflétée par le nombre de MP reconnues comme l'ont montré l'expertise INSERM et d'autres travaux^{12, 13}.

La figure 1-5, illustre l'évolution comparée entre le nombre total des maladies professionnelles reconnues et la somme des MP reconnues au titre des 5 tableaux qui ont progressivement joué un rôle majeur dans le système de reconnaissance (69,0 % des MP reconnues en 1993-1995). Ces cinq affections impriment bien l'allure de l'évolution de l'ensemble des MP reconnues.

Le nombre de maladies professionnelles officiellement reconnues est très en deçà du nombre réel d'affections attribuables aux conditions de travail (voir en annexe p. 266 la procédure de reconnaissance des MP). En 1993, pour 904 cas de décès par mésothéliomes recensés par l'INSERM¹⁴, 77 victimes seulement ont eu une reconnaissance et

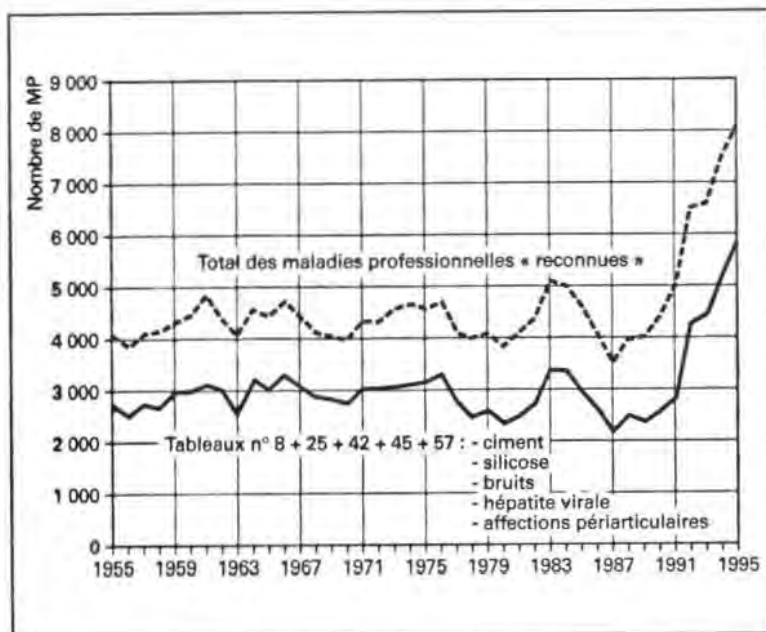
11. Bilan des conditions de travail, rapport du Conseil supérieur de la prévention des risques professionnels, 25/02/1999.

12. Effets sur la santé des principaux types d'exposition à l'amiante. Expertises collectives INSERM. Les Éditions INSERM, Paris, 1997.

13. BERGERET A. et ses collaborateurs ont démontré, dans une enquête sur la réparation des cancers professionnels indemnisables dans le Rhône (Arch. Mal. Prof. n° 8, 1994), que 4 patients sur 25 atteints de leucémies avaient eu leur maladie professionnelle reconnue.

14. « Reconnaissance des maladies professionnelles. Le parcours du combattant », *Santé et Travail*, n° 17, septembre-octobre 1996, p. 50 à 52.

FIGURE 1-5. — ÉVOLUTIONS COMPARÉES DES MALADIES PROFESSIONNELLES RECONNUES DES TABLEAUX N° 8 (CIMENT), 25 (SILICE), 42 (BRUIT), 45 (HÉPATITES), 57 (TMS)



une indemnisation au titre des maladies professionnelles alors que ce cancer de la plèvre est un marqueur quasi spécifique d'une exposition passée à l'amiante. Une étude menée sur les 8 départements de la région Rhône-Alpes¹⁵ a recensé tous les cas de mésothéliomes diagnostiqués entre le 1^{er} janvier 1980 et le 1^{er} janvier 1988, soit 224 cas (204 cas hospitaliers et 20 cas complémentaires suite à déclaration de MP). Parmi les 204 cas hospitaliers, 44 ont reçu un certificat de déclaration, 42 ont fait une déclaration, 24 ont été reconnus en MP soit environ un dixième. Selon le *Bulletin épidémiologique hebdomadaire* du 9 novembre 1999, « les taux cumulés pour la période 1984-

15. « Méconnaissance du risque professionnel de mésothéliome pleural, exemple de la région Rhône-Alpes », HARF R., LAVAL I., DAVEZIES P., BERGERET A., *Revue des maladies respiratoires*, 1993, 10, p. 453-458.

TABEAU 1-6. — LES PRINCIPAUX DOMAINES DE RÉPARATION DES MALADIES PROFESSIONNELLES PAR LE RÉGIME GÉNÉRAL DE SÉCURITÉ SOCIALE EN FRANCE¹⁶

Tableau	Affections	1991	1992	1993	1994	1995	1996
n° 57	Affections périarticulaires	1 342	2 602	3 165	3 963	4 704	6 183
n° 30 et 30 bis ¹⁷	Affections dues à l'amiante	492	507	544	727	817	975
n° 42	Surdité	791	941	763	751	777	726
n° 65	Lésions eczématiformes	305	314	317	361	323	305
n° 8	Affections causées par les ciments	358	369	270	232	249	238
n° 25 et 25 bis	Affections dues à la silice	302	290	226	247	275	230
n° 47	Affections dues aux bois	107	92	76	88	77	87

1993, par millions d'habitants, de maladies professionnelles provoquées par l'amiante reconnues sont respectivement de 7,6, 28,1 et 39,1 en France, Belgique et Allemagne pour le mésothéliome, alors que les taux français de mortalité par cancer de la plèvre sont du même ordre de grandeur¹⁸.

Le rapport Deniel remis en octobre 1997 au ministre de l'Emploi constate en effet que le nombre des déclarations de maladies professionnelles est très inférieur en France à celui des autres pays comparables¹⁹. Bien que passé de 8 847 en 1992 à 10 186 en 1995, le nombre de maladies professionnelles reconnues en France est par exemple 10 fois plus faible qu'en Allemagne. En Suède, pays sept fois

16. Bilan des conditions de travail, rapport du Conseil supérieur de la prévention des risques professionnels, 25/02/1999.

17. Le tableau 30 bis a été créé en 1996.

18. « Les inégalités régionales de prise en charge des maladies professionnelles : l'exemple du mésothéliome », GOLDBERG S., GOLDBERG M., LUCE D., *BEH*, n° 45/1999.

19. Rapport de la Commission prévue par la loi de financement de la Sécurité sociale 1997 portant sur l'institution et les modalités de calcul d'un versement annuel de la branche AT-MP à la branche maladie du régime général.

moins peuplé que la France, 10 000 maladies professionnelles sont indemnisées chaque année. En conséquence, le coût des maladies professionnelles pèse excessivement sur la branche maladie du régime général de la Sécurité sociale (financée pour partie par les cotisations des salariés) au bénéfice de la branche AT-MP (financée pour la totalité par les employeurs) : entre 808 et 904 millions de francs devraient ainsi être transférés annuellement à la charge de la branche AT-MP.

Il existe d'autre part d'importantes disparités dans la reconnaissance des maladies professionnelles en France. L'amiante est encore un bon exemple (parce que c'est celui pour lesquelles les données statistiques sont les plus complètes : 8,6 % des cas de mésothéliomes sont reconnus comme professionnels dans la CRAM de Montpellier contre 98,4 % à Nantes, d'après l'INSERM).

Cette situation est dénoncée depuis des années. Comment peut-elle perdurer ? Les causes sont nombreuses. Citons pêle-mêle le manque d'information des salariés qui souvent ignorent leurs droits, le faible niveau d'indemnisation des MP, l'obstruction des employeurs, la suspicion et l'inertie des caisses, le manque de formation de leurs enquêteurs, l'insuffisance de connaissance des médecins généralistes en matière de pathologies professionnelles. Au niveau des caisses de Sécurité sociale, le médecin conseil tranche souvent en défaveur de la victime suivant en cela une logique comptable. Et les médecins du travail, disposent-ils de l'information requise pour assister les personnes dans ce parcours du combattant ? Surtout, ont-ils l'indépendance nécessaire pour cela ?

Dans l'instruction d'une reconnaissance en MP, la preuve de l'exposition est souvent difficile à établir compte tenu du délai de latence de certaines maladies qui, souvent, apparaissent après la retraite. Cette identification de l'exposition serait grandement facilitée si la déclaration des procédés susceptibles de provoquer des maladies professionnelles, pourtant obligatoire, était faite par les employeurs ce qui n'est quasiment jamais le cas²⁰. L'inspecteur du travail devrait verbaliser en

cas de défaillance de l'employeur²¹. Il le fait d'ailleurs parfois, mais est bien peu suivi par l'autorité judiciaire (voir annexes, p. 266). La Conférence régionale de santé de la région Rhône-Alpes, dans laquelle avait été choisi le thème « Santé au travail » dans le cadre des États généraux de la santé de 1999, a discuté la mise en place d'un dispositif permettant d'assurer la traçabilité des expositions professionnelles, en s'appuyant sur les *fiches d'entreprises* et les *notices de postes* dont disposent les services de médecine de travail dans l'ensemble des établissements où a travaillé une personne donnée. Resterait alors à établir une *fiche individuelle de liaison du parcours professionnel*, au travers par exemple des caisses de retraites dont le métier est précisément la reconstruction des histoires professionnelles de tous les assurés sociaux. On imagine l'intérêt d'un tel dispositif, à la fois pour faciliter la reconnaissance de l'origine professionnelle d'un asthme qui surviendrait à 45 ans ou d'un cancer à 67 ans, et pour la réalisation d'études de suivi de la santé de cohortes de travailleurs.

En cas d'accident du travail ou de maladie professionnelle, la victime ne peut pas, en principe, demander d'indemnisation directement à son employeur. Les entreprises sont assurées contre les conséquences de tels événements par l'assurance AT-MP. La victime est donc indemnisée par la caisse primaire d'assurance maladie, qui verse indemnités journalières, prestations en nature et rentes d'accident du travail. Seule exception à cette immunité légale de l'employeur : la *faute inexcusable*. Celle-ci peut être démontrée si l'accident du travail ou la maladie professionnelle trouve son origine dans le non-respect des règles d'hygiène et de sécurité. Si la procédure aboutit, la victime obtient une augmentation de sa rente accident du travail et la réparation de son préjudice personnel. Cette voie a été ouverte par les victimes de l'amiante. Le non-respect des valeurs limites d'exposition, devrait être plus souvent invoqué par la victime d'une maladie professionnelle, et pas seulement dans le cas de l'amiante. Encore faut-il pouvoir faire la preuve que les ambiances dépassaient ces fameuses limites. Mais pourquoi donc a-t-on tant de mal à avoir accès aux résultats des mesures faites dans les ateliers ?

20. Art. L 461-4 du code de la Sécurité sociale : tout employeur qui utilise des procédés de travail susceptibles de provoquer des maladies professionnelles est tenu d'en faire la déclaration à la Caisse primaire d'assurance maladie et à l'inspecteur du travail.

21. Art. R 471-5 du code de la Sécurité sociale.

LA POLLUTION DES EAUX

Vent de panique sur les côtes de l'Atlantique et de la Manche ! Depuis la fin des années quatre-vingt, l'alerte rouge est déclenchée en Bretagne : le taux de nitrates ne cesse de grimper dans les ressources en eau de l'Armorique, au point que les Bretons désormais, dans leur immense majorité, n'utilisent plus autre chose pour boire que de l'eau en bouteille. Ont-ils raison de paniquer ainsi ? Pour la pérennité de leur environnement, sans doute. Pour leur santé, c'est à voir...

À Paris, dans certains immeubles vétustes des anciens quartiers de Belleville, Ménilmontant et Pigalle, les enfants sont massivement atteints de saturnisme. Cette terrible maladie résulte d'une intoxication au plomb. Comment l'ont-ils contractée ? En grattant la vieille peinture qui recouvre les murs, en suçant leurs doigts, mais aussi en buvant l'eau véhiculée par les antiques canalisations de plomb du bâtiment. Cette situation extrême n'a aucun rapport, heureusement, avec le quotidien de la majorité des Français. Mais il est vrai que la quantité de plomb dans l'eau est limitée par des règlements sanitaires de plus en plus rigoureux. En attendant une réfection générale des anciens réseaux d'eau contenant du plomb, quels sont les risques ?

Nitrates, plomb, métaux lourds, bactéries et virus... Pas une semaine sans que ces polluants n'encombrent les robinets, les plages, les piscines, et – bien sûr – les journaux. L'eau du robinet est-elle

réellement dangereuse ? La baignade est-elle devenue une activité aussi risquée que la pratique du parachutisme ?

Quinze siècles avant J.-C., des signes primitifs de la quête d'une eau pure sont identifiés sur les murs de constructions égyptiennes. Quelques centaines d'années plus tard toujours en Égypte, puis en Grèce, les premiers ouvrages destinés à « domestiquer » l'eau sont édifiés. Ce sont des puits, aqueducs, fontaines. Sous l'Empire romain, des textes de loi interdisent la pollution volontaire de l'eau. Sa distribution est contrôlée par un « corps » de fontainiers. Pourtant, seuls quelques visionnaires s'interrogent alors sur la relation entre une eau de mauvaise qualité et certaines maladies. Il faut attendre le XIX^e siècle, J. Snow (1854), R. Koch (1892) et la révolution pasteurienne, pour que la communauté scientifique d'abord, puis l'ensemble de la population, prennent conscience du rôle majeur de l'eau dans la transmission de nombreuses affections. Un pas décisif pour la maîtrise des maladies infectieuses d'origine hydrique est franchi au début de ce siècle avec le développement de l'usage du chlore, utilisé encore aujourd'hui.

L'eau est paradoxalement à la fois source de vie et source de maladies. Indispensable à la vie de la plupart des organismes : le corps humain, par exemple, est constitué d'environ 60 % d'eau et les besoins vitaux de l'homme adulte sont évalués à 5 litres minimum par jour. Par ailleurs, l'amélioration des conditions d'hygiène, individuelles et collectives, est étroitement liée à la disponibilité et à la qualité de l'eau. Enfin, l'eau génère des richesses agricoles (par exemple sur les terrains enrichis par les alluvions déposées lors des inondations du Nil) ou commerciales : grâce au transit fluvial et maritime, un grand nombre de villes ont en effet été fondées et se sont développées le long des cours d'eau ou aux embouchures des fleuves.

Mais l'eau est aussi un puissant vecteur de propagation de maladies. L'histoire de l'humanité est ponctuée d'innombrables épidémies dévastatrices d'origine hydrique, telles que le choléra ou la fièvre typhoïde, qui ont décimé des populations entières. La situation reste désastreuse dans de nombreux pays du monde. L'Organisation mondiale de la santé estime, par exemple, que 3 millions d'enfants de moins de 5 ans ont succombé en 1993 aux maladies diarrhéiques. Dans les pays développés, grâce aux formidables progrès accomplis depuis un siècle en matière d'hygiène du milieu, prévention et traite-

ment des affections, les maladies infectieuses d'origine hydrique sont à peu près maîtrisées. Au plan chimique, l'eau peut également constituer un vecteur d'intoxication : récemment, on a trouvé de l'arsenic « naturel » dans l'eau de boisson de certaines régions.

Ne baissons donc pas trop tôt la garde ! De nombreux indices nous rappellent que la bataille de l'eau n'est pas définitivement gagnée. La science doit rester modeste. Elle se révèle bien souvent impuissante à prévenir, ou même guérir certaines maladies. En témoignent l'apparition de « germes émergents » fréquemment véhiculés par l'eau, ou la lente mais réelle augmentation des cas de cancer dont une partie résulte de la pollution de l'environnement.

L'eau a longtemps été considérée comme une ressource inépuisable : 72 % de la surface du globe est en effet recouverte d'eau, soit un volume estimé à 1 350 millions de km³ d'eau. Cependant, si on exclut les eaux salées et les glaces polaires, seul 0,8 % de cette quantité reste réellement disponible pour subvenir aux besoins de l'homme sous forme d'eau douce superficielle ou souterraine. La répartition géographique de l'eau sur la terre est très inégale, la pluviométrie variant dans un rapport de 1 000 à 10 000 selon les régions. Quant aux besoins en eau, ils oscillent selon le niveau de développement économique des pays. Les inégalités dans l'accès à l'eau constituent de redoutables germes de guerres.

L'accès à une eau en quantité et en qualité suffisantes, l'évacuation des eaux souillées ont été, et restent aujourd'hui encore, des préoccupations majeures pour les collectivités humaines. Dans les pays développés, jusque dans les années soixante, l'objectif restait limité à la construction de réseaux d'adduction d'eau et d'évacuation des eaux usées (égouts). L'eau était gérée localement, à l'intérieur d'entités géographiques (en général à l'échelle d'une commune, d'un groupement de communes ou d'une agglomération) indépendantes les unes des autres, sans préoccupation de l'amont et de l'aval. Mais l'eau est un fluide dynamique (souterrain ou superficiel) dont la maîtrise efficace doit s'envisager par une approche globale à l'échelle du bassin (ou sous-bassin) versant, en intégrant l'ensemble des usages. Une étroite relation existe, en effet, entre l'efficacité d'un système d'assainissement ou la qualité d'un rejet industriel, la contamination du milieu hydrique naturel et la qualité des eaux à usage sanitaire.

Pour des raisons d'hygiène et de protection de l'environnement, les autorités ont donc peu à peu pris conscience de la nécessité d'aborder ces questions dans le cadre d'un ensemble cohérent. Une première loi en 1964 a jeté les bases d'une gestion moderne des ressources en eau. La loi de 1992 a renforcé le dispositif en introduisant l'idée d'une « gestion intégrée » de l'eau pour limiter les éventuels conflits d'usages qui pourraient apparaître. Ces derniers sont en effet innombrables : eau de distribution publique, sécurité incendie, industrie, énergie, transports, agriculture, tourisme, etc.

L'eau de distribution publique est destinée à satisfaire une foule de besoins : boisson, usage en cuisine, hygiène corporelle, industrie agroalimentaire ou pharmaceutique... Et encore évacuation des eaux usées, hygiène des locaux, remplissage des piscines, procédés industriels, nettoyage des voiries... En fait, seulement 2 % de l'eau potable distribuée rentre en contact direct avec l'homme et peut donc être support ou vecteur potentiel de maladies d'origine hydrique. C'est pourtant cet usage sanitaire qui conditionne l'ensemble des règles d'hygiène applicables à l'eau de distribution publique.

L'homme a bien d'autres occasions d'être en contact avec l'eau. Baignade, sports d'eaux vives, thermalisme, conchyliculture, culture et consommation de végétaux aquatiques... Le risque microbiologique d'origine hydrique peut également être le fait d'expositions professionnelles (pour les égoutiers par exemple), ou plus simplement d'expositions environnementales directes (stagnation ou écoulement d'eaux usées, prolifération d'insectes, etc.). La pollution chimique de l'eau peut contaminer la chaîne alimentaire, comme l'illustre la maladie de Minamata au Japon : entre 1956 et 1967, deux milles personnes ont été empoisonnées par du mercure ingéré lors de la consommation de poisson pêché à proximité des rejets d'une usine de produits chimiques.

Avant d'entrer dans les détails, rappelons une chose essentielle : toute eau non polluée n'est pas systématiquement potable ou propre aux usages auxquels elle est destinée ! Dans certaines régions aux caractéristiques géologiques particulières, il arrive que des eaux naturelles portent atteinte à la santé lorsqu'elles sont, par exemple, chargées en éléments radioactifs ou en métaux lourds présents dans le sol...

Les eaux de boisson

L'alimentation des populations en eau de bonne qualité nécessite son acheminement jusqu'au robinet du consommateur par un réseau de distribution, en général public, constitué de plusieurs maillons successifs :

- la zone d'alimentation, correspondant à une nappe phréatique ou au bassin versant d'une retenue ou d'un cours d'eau ;
- la prise d'eau, constituée d'ouvrages de pompage ou de captage ;
- les canalisations d'adduction amenant l'eau à proximité des zones de distribution ;
- les installations de traitement ; elle dépendent directement des caractéristiques de l'eau brute et de la qualité exigée en distribution. Le traitement peut, dans certains cas, se limiter à une simple désinfection ou, au contraire, comporter une filière complète (floculation - agglomération de particules -, filtration, désinfection, traitements de finition), notamment lors de l'utilisation d'eaux de surface ;
- les installations de stockage ;
- le réseau de distribution proprement dit.

Chaque élément d'un réseau présente ses propres caractéristiques tant au plan des risques de contamination qu'au niveau des exigences de la surveillance et du fonctionnement. Chaque année en France, 6 milliards de mètres cubes sont prélevés dans la nature pour l'alimentation en eau potable. 60 % de ces prélèvements sont d'origine souterraine, et 40 % proviennent des rivières et des lacs.

Les risques de pollution de l'eau de boisson et d'atteinte à la santé publique sont essentiellement d'origine chimique et microbiologique. Les maladies infectieuses d'origine hydrique causées par les bactéries, les virus ou les parasites constituent le principal risque en terme d'impact sanitaire. La maîtrise de ce risque sera donc toujours privilégiée par rapport aux autres.

Le risque microbiologique : du potentiel au réel

L'eau de distribution publique peut constituer une source redoutable d'exposition à des micro-organismes infectieux car elle peut toucher simultanément un grand nombre de personnes sensibles. Il suffit, en effet, que des micro-organismes intestinaux pathogènes

soient introduits dans l'eau en abondance, même ponctuellement, par le biais de matières fécales provenant de personnes ou d'animaux infectés. Cette pollution de l'eau peut avoir lieu à la ressource avant traitement ou bien dans le réseau de canalisations. C'est ainsi que les épidémies de maladies infectieuses d'origine hydrique touchent généralement des dizaines, des centaines voire parfois des milliers de personnes suivant l'importance de la population desservie. L'eau de boisson embouteillée non gazeuse, comme tout produit alimentaire industriel, peut être aussi à l'origine d'épidémies, en cas de contamination accidentelle de la ressource ou de la chaîne d'embouteillage. Mais celles-ci sont habituellement plus difficiles à détecter et probablement de moindre ampleur, les consommateurs étant géographiquement dispersés et en nombre plus faible. Le risque doit être relativisé : dans les pays comme la France, où la lutte pour la qualité de l'eau est très ancienne, ces phénomènes épidémiques sont devenus rares et, le plus souvent, de faible gravité. La surveillance épidémiologique montre pourtant que tout péril n'est pas exclu.

Le nombre total de micro-organismes potentiellement pathogènes transmissibles par l'eau est inconnu, mais ils se comptent vraisemblablement par milliers. Grâce à l'amélioration des méthodes de détection, de nouveaux agents infectieux sont continuellement identifiés. Les voies possibles d'exposition par l'eau d'usage domestique sont l'ingestion, le contact cutané et l'inhalation. Les infections les plus communément associées à l'eau d'usage domestique sont intestinales. Le plus souvent, elles sont dues à des contaminants fécaux, tels que des virus, des parasites de la famille des protozoaires ou des bactéries. Mais des micro-organismes non intestinaux peuvent conduire à des infections de la peau, à des conjonctivites ou des affections respiratoires.

• Des bactéries...

Les bactéries sont les agents des grandes épidémies historiques liées à l'eau. Avec l'agent du choléra (*Vibrio cholerae* O1 ou O139) et l'agent de la fièvre typhoïde (*Salmonella Typhi*), ces micro-organismes pathogènes intestinaux ont été à l'origine d'un grand nombre de maladies et d'une importante mortalité dans les pays industrialisés jusqu'à la fin du XIX^e siècle. Ces deux espèces de bactéries entériques (c'est-à-dire vivant dans les intestins) constituent toujours un gros problème

de santé publique dans les pays en voie de développement. Elles sont généralement infectieuses uniquement pour l'homme. De nos jours, dans les pays industrialisés, les bactéries pathogènes fécales transmissibles par l'eau ne sont pas propres à l'homme, et sont beaucoup moins virulentes que par le passé. Ainsi, on trouve les espèces des genres *Campylobacter* et *Salmonella*, pathogènes pour l'homme, dans les tubes digestifs de nombreuses espèces animales domestiques ou sauvages. C'est pourquoi la contamination de l'eau par des matières fécales animales constitue également un risque pour la santé humaine.

La dose infectante des bactéries entériques varie selon qu'elles sont transportées par l'eau ou par un aliment. Elle dépend aussi du sujet récepteur. Par exemple, l'ingestion d'un volume d'eau contenant un million de cellules de *V. cholerae* O1 ne suffit pas à provoquer un choléra. Si en revanche le consommateur avale en même temps un médicament ou un aliment diminuant l'acidité de son estomac, cette eau contaminée provoquera un choléra presque à coup sûr.

On possède peu d'information sur les quantités de bactéries entériques pathogènes dans les eaux brutes ou traitées destinées à la consommation humaine. La persistance des bactéries entériques dans l'environnement aquatique dépend de l'espèce bactérienne et de nombreux facteurs environnementaux : température, acidité, rayonnement solaire, prédation ou compétition avec les micro-organismes aquatiques autochtones, matières organiques dissoutes, attachement aux particules en suspension dans l'eau... Certaines bactéries sont capables de s'adapter à des conditions environnementales défavorables à leur survie. Mais la majorité des espèces bactériennes pathogènes intestinales sont éliminées ou inactivées facilement par les procédés de traitement classiques de l'eau de distribution, tels que la chloration, l'ozonation ou les ultraviolets. La majorité des épidémies hydriques associées à des bactéries pathogènes, comme celles récemment survenues aux États-Unis, ont été dues à la consommation d'eaux souterraines non ou insuffisamment chlorées.

• ...des virus

Les virus entériques (vivant dans les intestins) ont été reconnus comme agents pathogènes hydriques plus récemment que les bactéries entériques. Il s'agit d'un très vaste ensemble dont l'importance en

pathologie humaine ne cesse de croître, alors que s'estompe la menace bactérienne historique. De nombreux virus (tels que le virus de l'hépatite A, les entérovirus – famille à laquelle appartient le virus de la polio) sont responsables de gastro-entérites aiguës. Contrairement aux bactéries entériques, qui peuvent provenir d'animaux, la transmission hydrique des virus entériques semble généralement limitée aux souches d'origine humaine. La dose infectante de ces agents infectieux est plus faible que pour les bactéries. Autrement dit, il suffit d'un faible nombre de particules virales pour entraîner des troubles. Autre facteur contribuant à l'émergence de ces agents pathogènes : les virus entériques sont plutôt plus résistants dans l'environnement aquatique que la plupart des bactéries de même origine. En outre, leur petite taille et leur grande résistance leur permettent des migrations dans le sol et dans l'eau de surface plus longues que celles des bactéries. En revanche, contrairement aux bactéries aquatiques et à certaines bactéries entériques, les virus entériques humains ne peuvent pas se multiplier dans l'environnement.

Actuellement, la recherche de virus dans l'eau ne se fait pas de manière routinière, les techniques d'analyse étant délicates, et de rendements incertains. À l'heure actuelle, on sait très mal caractériser la qualité de l'eau d'un point de vue virologique. Ce qui n'empêche pas les traitements préventifs. L'inactivation et l'élimination des virus entériques par les procédés de potabilisation varient selon le type et les conditions de traitement. Si certains, comme les bactéries, réagissent aux traitements de désinfection, d'autres sont beaucoup plus résistants, ce qui leur permet de passer à travers les étapes des traitements conventionnels. Les avancées technologiques récentes pour la détection des virus entériques dans l'eau, fondées sur la biologie moléculaire, devraient permettre d'en savoir davantage sur le nombre d'épidémies hydriques réellement dues aux virus entériques. On pourra ainsi vérifier si le consensus actuel, qui veut que beaucoup d'épidémies de gastro-entérites aiguës d'origine inconnue soient dues à des virus entériques, est justifié. Aux États-Unis, qui bénéficient pourtant d'un système d'information performant, plus de 50 % des épidémies de maladies hydriques n'ont pas de cause connue.

• ...et des parasites

Ces données sur les épidémies hydriques nord-américaines sont issues d'un système de surveillance basé sur la déclaration volontaire des cas par les autorités sanitaires. Elles ne représentent qu'une fraction de l'incidence véritable des épidémies de maladies infectieuses. À défaut de données comparables en France, les chiffres américains apportent d'utiles informations. Ils montrent en particulier clairement que depuis le début des années 1980, les parasites sont devenus les causes principales des épidémies de pathologies infectieuses hydriques d'origine connue. Les parasites en cause sont de la famille des protozoaires, germes monocellulaires. Il ne s'agit plus des amibes, connues depuis longtemps, encore très présentes dans les pays en développement, comme *Entamoeba histolytica* (responsable de l'amibiase). Ces « nouveaux » parasites appartiennent aux genres *Giardia* et *Cryptosporidium* qui n'ont été reconnus que récemment comme agents pathogènes pour l'homme. La contamination de l'eau se fait par les matières fécales animales et humaines. La contamination fécale par le bétail est d'ailleurs la source suspectée en priorité en cas d'épidémie de cryptosporidiose, liées aux germes déjà décrits : il s'agit souvent d'un captage d'eau mal protégé, où les animaux ont pu accéder.

Ces germes (kystes, oocystes) sont dotés d'une paroi protectrice épaisse qui les rend résistants dans l'environnement. Comme les virus entériques, les protozoaires intestinaux ne peuvent se multiplier dans l'environnement. Leur migration dans le sol est limitée par leur « grande » taille (7 à 14 microns pour les kystes de *Giardia*, et 4 à 6 microns pour les oocystes de *Cryptosporidium*). Mais une eau souterraine peut se trouver contaminée par des kystes de protozoaires à l'occasion d'une inondation. Aux États-Unis, la contamination des eaux de surface par *Cryptosporidium* est fréquente, et un pourcentage non négligeable d'eaux de distribution obtenues par traitement d'eau de surface, contiennent ces germes en faible abondance. Ces protozoaires intestinaux (qu'on ne recherche pas en temps normal) sont beaucoup plus résistants à la désinfection par le chlore que les bactéries. Une eau traitée peut donc en contenir en l'absence de toute bactérie indicatrice de pollution fécale. À cause de cette résistance au chlore, l'élimination de ces organismes au cours du traitement reposera donc d'abord sur des procédés physiques comme la coagulation-

floculation (aggrégation de particules), la sédimentation et la filtration. D'ailleurs, aux États-Unis, la majorité des quelques dizaines d'épidémies annuelles liées à l'eau de boisson et attribuées aux protozoaires entériques, était due à la distribution publique d'une eau de surface soit non filtrée, soit mal floculée et mal filtrée. De surcroît, ces protozoaires ont des doses infectantes relativement basses. Les personnes souffrant d'une baisse de leur immunité (malades sous traitement anticancéreux ou antirejet de greffes, porteurs du virus de l'immuno-déficience humaine...) sont particulièrement fragiles en cas d'infection par *Cryptosporidium*.

Ces considérations sur les risques microbiologiques concernent peu les eaux minérales embouteillées. Les eaux minérales naturelles proviennent de sources ou de forages bien protégés contre les contaminations. Elles ne sont soumises à aucun traitement antibactérien, et après embouteillage, elles sont souvent stockées pendant plusieurs mois avant d'être distribuées. Les eaux minérales non gazeuses et non carbonatées contiennent à la source de très faibles densités de bactéries, et accessoirement des champignons et des protozoaires. Cependant, après embouteillage, et dès une semaine de stockage à 20 degrés, il arrive qu'on puisse compter plus de 10 000 bactéries par millilitre. La composition de cette flore bactérienne naturelle dépend des paramètres physico-chimiques des nappes (température, carbone disponible, sources d'énergie), mais le métabolisme de ces micro-organismes, leur nutrition et leur préférence pour les températures fraîches, indiquent qu'ils ne sont pas adaptés à la vie chez l'homme ou l'animal.

Toutes les données expérimentales montrent que les bactéries autochtones des eaux minérales naturelles n'ont jamais provoqué de désordres chez l'homme et l'animal. En Europe, depuis les années 1980, aucune épidémie, aucun cas isolé de maladie due à la consommation d'eau minérale naturelle, n'a été signalé par les autorités sanitaires des pays de l'Union européenne, ni publié dans la littérature scientifique. Ce cas des eaux embouteillées illustre une réalité tout à fait générale, valable aussi pour l'eau du robinet : une eau potable d'origine naturelle n'est pas une eau stérile. Des germes non pathogènes y sont présents, qui sont sans danger.

Le risque chimique

Les eaux naturelles ou destinées à la consommation humaine contiennent aussi de nombreuses substances chimiques. Certaines sont nécessaires, voire indispensables en quantité limitée à l'organisme, comme le calcium, le potassium, l'iode. C'est en général l'excès de certains de ces éléments qui peut induire des effets néfastes sur la santé. D'autres molécules présentes dans l'eau sont toxiques, même à faible dose, et totalement inutiles pour le corps humain : les pesticides, par exemple, et certains métaux lourds. Si leur quantité excède certains niveaux, il faut alors traiter l'eau ou renoncer à cette ressource, impropre à produire de l'eau de boisson.

Le risque induit résulte fréquemment d'une intoxication lente s'étalant sur des mois, des années, voire des décennies, due à la consommation régulière de l'eau contaminée. Les effets se font souvent sentir beaucoup plus tard. Cette longue latence, à l'opposé de l'effet immédiat des contaminants infectieux, explique pourquoi le risque chimique a été pris en compte tardivement. Les effets engendrés par les polluants chimiques sont très divers. Ils peuvent se limiter à un « inconfort » sans effet sur la santé : par exemple, le fer, non toxique aux doses habituellement observées dans les eaux d'alimentation, donne un goût et une coloration désagréables à l'eau, ce qui oblige à en limiter la concentration. Par contre, certaines maladies peuvent être directement (mais rarement exclusivement) liées à la consommation d'eau polluée ; c'est le cas notamment de la fluorose dentaire provoquée par un excès de fluor dans l'eau. Le taux de fluor varie selon les régions françaises mais il est rare qu'il atteigne des concentrations dangereuses. Le saturnisme peut aussi résulter de la dissolution du plomb des canalisations dans l'eau. La consommation d'eau chargée de substances toxiques, même en petite quantité, s'additionnant aux autres sources d'exposition, peut donc participer à l'intoxication des organismes et au développement de maladies graves comme certains cancers.

Les risques liés à la présence de certaines substances dans l'eau sont bien établis, en particulier pour les métaux lourds. Cependant, ces effets sont peu spécifiques d'un polluant donné, et l'eau est rarement la source exclusive dudit polluant. C'est pourquoi il est bien difficile de mener des études épidémiologiques mettant en évidence la relation entre la qualité chimique de l'eau de boisson et la fréquence

de certaines maladies. D'autant que les concentrations de polluants sont faibles, la plupart du temps. Pour cette raison, la contribution précise des polluants chimiques dans l'apparition de pathologies est souvent incertaine. De nombreuses interrogations subsistent, par exemple, sur le rôle de l'eau de consommation dans l'apparition de la maladie d'Alzheimer : quel est le risque induit par l'ingestion d'aluminium provenant du traitement de l'eau ? Interrogations aussi sur les cancers de la vessie qui seraient dus aux haloformes, sous-produits issus, comme le chloroforme, de la désinfection de l'eau par des produits chlorés. Interrogations, enfin, sur les cancers de l'intestin dus aux dérivés des nitrates en excès dans l'eau...

Le risque chimique constitue désormais un problème important. Les collectivités doivent y être très attentives, tant par la nature des dangers (on a vu qu'ils étaient plus ou moins bien évalués) que parce que ce risque est particulièrement redouté de la population. Malheureusement pour ces collectivités et pour les consommateurs, les coûts de protection des ressources et de dépollution des eaux sont souvent considérables.

Au rang des grandes inquiétudes populaires, il y a le plomb. C'est un toxique dont les effets sont largement connus et redoutés (voir annexe, p. 289). L'exposition saturnine d'origine hydrique peut être importante, dans certaines conditions défavorables. Cette pollution provient essentiellement de la dissolution dans l'eau du plomb, présent dans certaines canalisations anciennes ou dans leurs soudures. La quantité de plomb dissoute lors du transit dans les tuyaux dépend des caractéristiques de l'eau, de son acidité, de sa température, de sa dureté, et de sa durée de séjour dans les canalisations. La fixation de la limite de qualité de cette substance au robinet du consommateur est basée sur ses effets neurotoxiques. Ceux-là ont été calculés à partir d'une Dose hebdomadaire tolérable (DHT) fixée par des experts de l'OMS et de la FAO (organisme des Nations unies pour l'Agriculture et l'Alimentation)¹. La valeur guide de l'OMS est

calculée pour le nourrisson, groupe de population le plus sensible. En considérant que l'eau représente 50 % des apports journaliers de plomb, le calcul de la dose acceptable donne une concentration maximale de 10 µg/l, à comparer aux 50 µg actuellement en vigueur. La Directive européenne de 1998 a retenu cette nouvelle valeur qui doit être prochainement reprise dans les textes nationaux.

Mais pour respecter cette limite de 10 µg, il faudrait pratiquement supprimer l'ensemble des canalisations en plomb, ce qui est impossible dans certaines villes européennes souvent anciennes. L'Union européenne a donc accordé des délais : 5 ans pour respecter 25 µg, et 15 ans pour 10 µg, tout en précisant que toutes les mesures doivent être prises pour réduire le plus possible les teneurs durant la période considérée. En France, près de 4 millions de branchements du réseau public étaient encore en plomb en 1999, et 10 millions de logements comportaient du plomb dans le réseau intérieur. On estime à 120 milliards de francs le coût de remplacement des seules canalisations au plomb françaises.

Cette décision européenne sécurise le consommateur. Mais elle résulte d'une application très large du principe de précaution. En réalité, elle n'est pas fondée sur une caractérisation véritable des risques liés à de faibles quantités de plomb dans l'eau. Les incertitudes et les hypothèses restent considérables. Quelle est l'ampleur du risque sanitaire à ces faibles niveaux d'exposition ? Quelle est la part de l'eau dans l'exposition totale ? Comment mesurer les concentrations de plomb dans l'eau ? Celles-ci varient énormément, car elles dépendent des conditions de soutirage et des caractéristiques techniques du réseau privé et public. Vu ces incertitudes, les coûts considérables générés par cette exigence, certains experts ont contesté la pertinence du texte européen et recommandé que soient adoptées des exigences moins draconiennes adaptées aux situations particulières. Parmi les mesures proposées, on trouve le remplacement systématique des tuyaux en plomb lors de la réalisation de travaux sur le réseau public

1. Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires. À titre d'illustration de la démarche générale pour un grand nombre de polluants, le calcul de la valeur guide (VG) de concentration de plomb dans l'eau, en prenant le nourrisson comme « groupe sensible » est le suivant : $VG = DJT \cdot PC \cdot PAE / CQ$, avec :

DJT : dose journalière tolérable = 3,5 µg/kg.

PC : poids corporel = 5kg.

PAE : pourcentage d'apport lié à l'eau = 50 %.

CQ : consommation quotidienne = 0,75 l.

et dans les immeubles ou logements anciens ; l'information du public pour que les nourrissons ne consomment pas l'eau du robinet si celle-ci est amenée par des tuyaux contenant du plomb ; la recommandation de laisser s'écouler l'eau au robinet (ne jamais boire les premiers jets, surtout au retour d'une longue absence) et enfin l'amélioration des caractéristiques chimiques de l'eau par traitement au niveau des stations de potabilisation. En effet, moins l'eau est minéralisée, plus on y trouve de plomb. Car ce type d'eau facilite la dissolution du métal des canalisations. En France, 3 millions de personnes sont concernées par ce phénomène. Une des solutions consiste à installer des unités de minéralisation dans les usines de potabilisation. L'opération est en principe facile à réaliser : on ajoute à l'eau du carbonate de calcium, par exemple. Cela reviendrait beaucoup moins cher que de poser des canalisations neuves.

Les nitrates font également partie des éléments redoutés par les consommateurs. Ils constituent l'étape finale de l'oxydation de l'azote. À ce titre, ils sont souvent présents naturellement dans les eaux superficielles et souterraines à de faibles concentrations, car l'azote est un composé naturel de la dégradation de toute matière organique. L'augmentation massive et généralisée de ses teneurs dans les eaux, observée depuis un demi-siècle, est essentiellement due au développement des pratiques agricoles intensives, cultures et élevage. Trop de déjections animales, trop d'engrais chimiques... Les excès de ces nutriments non absorbés par les végétaux sont lessivés par les pluies, entraînés vers les nappes et les rivières, et contribuent ainsi à la pollution.

L'étude de la toxicité des nitrates et de leurs dérivés, les nitrites, a donné lieu à de très nombreuses publications scientifiques. La controverse n'est pas close. Ces produits ne seraient pas directement cancérogènes. Par contre il semble que certaines formes de cancers puissent être associées à des doses élevées de composés nitrosés, en particulier les nitrosamines, formés dans le tube digestif à partir des nitrites. L'autre risque, sur la base duquel l'OMS a fixé la limite de qualité pour l'eau de boisson, est la méthémoglobinémie, ou cyanose du nourrisson. En effet, les nitrites en excès provoquent une réduction de l'hémoglobine du sang. L'effet produit est proche de celui lié à l'intoxication par le monoxyde de carbone : une moindre capacité des globules rouges à fixer et transporter l'oxygène, d'où la cyanose

dite aussi « maladie bleue ». Cette conséquence est bien démontrée lorsque les taux de nitrates sont très élevés (au-delà de 100 mg/l), surtout lorsqu'il y a une contamination microbiologique concomitante de l'eau. Elle est devenue heureusement très rare, et les cas de méthémoglobinémie détectés en France au cours des années passées ont presque toujours été dus aux nitrates en excès contenus dans l'alimentation solide du nourrisson. Les aliments constituent, en effet, une source d'exposition importante. Certains légumes (salades, betteraves, épinards, carottes...) sont en effet très chargés en nitrates et contribuent fortement à l'intoxication des populations. L'étude, intitulée « La diagonale des nitrates », réalisée il y a une dizaine d'années sur 400 repas, a montré qu'en moyenne 22 % des nitrates ingérés provenaient de l'eau, toutes populations confondues. Pour les enfants la proportion passait à 35 %. L'OMS considère que l'eau de boisson devient la principale source d'exposition pour des teneurs supérieures à 50 mg/l, niveau retenu comme valeur guide et reprise dans les textes européens de la fin des années quatre-vingt. En France, selon la Direction générale de la santé, environ 1 500 000 habitants seraient alimentés par une eau ne respectant pas en permanence la limite de 50 mg/l. Cependant cette pollution étant saisonnière, les dépassements sont en général limités dans le temps.

De nombreuses actions ont été entreprises pour améliorer cette situation. Elles concernent évidemment en premier lieu la réduction à la source par le développement d'une agriculture raisonnée, respectueuse de l'environnement. Cependant les politiques engagées depuis plus de dix ans tardent à porter leurs fruits. De plus en plus d'experts tirent la sonnette d'alarme en dénonçant la dérive lente mais constante vers la dégradation de la qualité des ressources aquifères profondes. Les eaux de surface connaissent aussi cette altération. Ainsi, le niveau moyen de concentration des nitrates dans les cours d'eau de Bretagne faisant l'objet d'une surveillance a avoisiné en 1998 les 40 mg/l, valeur jamais atteinte depuis 1972. Plus de 20 % des eaux de rivières présentaient dans cette région des valeurs excédant la valeur seuil de 50 mg/l. Et à certaines périodes de l'année, il arrive que des gens reçoivent au robinet une eau dépassant les 100 mg ! Les mesures mises en œuvre ont des effets très différés dans le temps (souvent sur plusieurs années). Est-ce un crime de lèse-paysan que

utilisés. Ils donnent naissance à de nombreuses molécules dont la toxicité est très variable, voire encore largement méconnue. Quelques substances font l'objet d'une valeur limite de l'OMS reprise dans la récente directive européenne. Les plus fréquentes sont les trihalométhanes, dont quatre formes peuvent résulter de la désinfection de l'eau : le bromoforme, le dibromochlorométhane, le bromodichlorométhane et le chloroforme, ce dernier étant le plus répandu. L'ingestion à fortes doses de ces produits serait à l'origine d'une légère augmentation du risque de cancer chez l'homme (en particulier du cancer de la vessie), ces résultats étant confirmés par des études chez le rat. De ce fait, une valeur limite propre à chaque substance et globale à ces quatre produits a été fixée. Parmi les autres sous-produits suspects, citons les bromates qui peuvent notamment se former lors de la désinfection par l'ozone.

La présence de ces substances s'observe essentiellement lorsque la désinfection est pratiquée sur une eau très chargée en matières organiques. La réduction des teneurs en sous-produits de désinfection passe donc d'abord par une amélioration du processus de traitement en amont de la désinfection. En France à ce jour, ces produits ne font pas l'objet de limite de qualité et ne sont pas recherchés de façon régulière. À défaut d'informations précises, on peut donc penser que s'il existe aujourd'hui des problèmes, ils restent limités à certains réseaux dont les filières de traitement sont insuffisantes ou mal exploitées.

La gestion du risque lié aux eaux de boisson

La réglementation française, directement issue de directives européennes, repose sur cinq principes que les distributeurs publics et privés sont tenus de respecter : des obligations de résultats ; des obligations de moyens ; des obligations de surveillance ; des obligations de procédures et des obligations d'information.

• Des « normes » de qualité

Pour être livrée à la consommation humaine, l'eau doit respecter des critères de qualité évalués au robinet du consommateur. Ces critères définissent des obligations de résultats pour le responsable du

réseau de distribution. Ils sont issus des recommandations formulées par l'OMS, qui statue après avoir réuni sur le sujet des groupes d'experts internationaux. Le nombre de paramètres pris en compte a considérablement augmenté depuis le début du siècle : en 1900, seulement une dizaine de paramètres étaient surveillés. Actuellement, soixante-deux paramètres font l'objet d'une limite de qualité. Le premier objectif visé lors du choix de ces paramètres et de la fixation des seuils associés est de protéger la santé des consommateurs, même si d'autres contraintes ont également été prises en considération.

Pour les valeurs directement liées au risque sanitaire, la démarche diffère selon le type d'effet pris en compte : substances à effets dits « sans seuil » (il s'agit le plus souvent de composés cancérogènes ou génotoxiques), ou substances à effets « avec seuil » (voir p. 329 pour une explication de ces termes). La norme définie pour les différents paramètres de qualité des eaux de boisson est calculée en tenant compte du poids corporel des individus, de la consommation quotidienne d'eau et de la contribution de l'eau, comparée aux autres voies d'exposition possibles (l'air, l'alimentation...).

La détection de certains agents, tels les germes pathogènes, est délicate voire impossible, longue, coûteuse et les résultats disponibles trop tardivement pour permettre une réelle prévention sanitaire : on ne gère pas la qualité de l'eau en comptant le nombre de diarrhées ! Afin d'agir efficacement et préventivement sur ces risques, le dispositif de surveillance sanitaire a été bâti sur le suivi de certains paramètres « traceurs » qui indiquent la présence possible de substances ou microbes dangereux, sans être nécessairement eux-mêmes pathogènes (c'est-à-dire transmetteurs de maladies). Pareille méthode permet d'identifier des risques potentiels. Si ces « témoins » sont présents, les risques ainsi identifiés permettent à l'exploitant de réagir, par exemple en augmentant les teneurs en chlore dans l'eau ou en réalisant des investigations complémentaires (recherche de germes particuliers...). Ces germes « témoins », *Escherichia coli* et streptocoque fécal, sont appelés germes tests de contamination fécale. Il existe aussi d'autres types d'indicateurs bactériens, qui sont plutôt utilisés comme indicateurs d'efficacité de traitement.

Au plan chimique, selon la même logique, certains composés azotés (nitrates, nitrites...) peuvent être considérés comme des indicateurs

de pollution. En effet, indépendamment de leur toxicité propre, leur présence dans l'eau peut laisser craindre dans certaines conditions la présence simultanée d'autres substances d'origine agricole telles que les produits phytosanitaires.

Au cours du siècle passé, ces outils de surveillance de la qualité de l'eau se sont avérés extrêmement utiles. Grâce à eux, grâce aux mesures techniques (choix de ressources de meilleure qualité, si nécessaire traitement de désinfection, sécurité des réseaux de conduite...) qui les ont accompagnés, l'hygiène publique a formidablement progressé. Il peut encore nous arriver de souffrir de troubles infectieux liés à l'eau. Mais ceux-ci sont plus rares qu'autrefois. Et surtout, les germes responsables sont moins virulents que ceux qui déclenchaient les épidémies périodiques subies par nos grands-parents. Pour le coup, des germes auparavant considérés comme de moindre importance relèvent la tête : écrasés il y a 50 ans par des éléments pathogènes connus depuis des siècles, des virus ou parasites de petite taille, terriblement résistants aux traitements habituels de l'eau, se manifestent aujourd'hui avec plus de netteté. La raison ? Ils sont moins bien « représentés » par les indicateurs bactériens classiques. De plus, la population générale est composée de groupes humains très divers. Du fait de leurs maladies, des traitements médicaux qu'ils suivent, de leur âge avancé, certaines personnes sont particulièrement sensibles. Ces gens fragiles, qui ne survivaient guère il y a 50 à 100 ans, sont des victimes de ces « nouveaux » agents pathogènes.

Ainsi, des épidémies d'origine hydrique ont été décrites aux États-Unis et en Grande-Bretagne, alors que les classiques « germes indicateurs de contamination fécale » étaient absents des analyses. Certaines de ces épidémies ont affecté une part importante de la population desservie en eau : l'épidémie de Milwaukee en 1993 a rendu malades 403 000 personnes. Des sujets sensibles sont morts, notamment des personnes immunodéprimées. Lors d'une épidémie à Las Vegas, en 1994, ville pourtant si riche, quarante et une personnes sont décédées, quasiment toutes séropositives au VIH.

Rassurons-nous : de tels événements n'ont jamais été constatés en France. Mais ces expériences montrent la difficulté à maîtriser de façon satisfaisante, en temps réel, l'ensemble des contaminations microbiologiques. Il devient nécessaire de recourir de plus en plus à

de nouveaux indicateurs non biologiques. Notamment la turbidité, autrement dit la présence de particules dans l'eau, et donc sa « transparence ». Car une forte turbidité peut protéger les micro-organismes des effets de la désinfection, et même stimuler leur croissance.

À côté de ces paramètres, intéressants d'un point de vue sanitaire, d'autres font également l'objet d'une limite de qualité. Il s'agit alors d'éviter la dégradation des installations de traitement par la corrosion. Rappelons que ce phénomène est à l'origine de la présence de certaines substances toxiques, dont le plomb. Si l'eau ne doit pas porter atteinte à la santé humaine, elle doit en outre être acceptable sur le plan organoleptique (odeur, saveur...) et inspirer confiance. Dans ce but, plusieurs paramètres sans incidence sanitaire ont été fixés, qui correspondent à des valeurs d'acceptabilité : température et couleur...

• Surveillance et droit à l'information du consommateur

Les distributeurs d'eau et les responsables des collectivités ont d'autres contraintes. Les captages d'eau doivent être protégés contre les pollutions. Les installations de traitement doivent être à l'abri d'agressions. L'eau « brute » utilisée pour faire de l'eau potable doit avoir elle-même une certaine qualité. L'eau distribuée est soumise à une surveillance constante du distributeur : analyses, visites de terrain, télésurveillance, capteurs en continu... Parallèlement, les DDASS assurent le contrôle de la qualité de l'eau. La fréquence de ces contrôles va de quelques prélèvements annuels pour les réseaux desservant moins de 500 habitants à plusieurs prélèvements quotidiens pour les réseaux des grandes agglomérations. L'autosurveillance mise en œuvre par les distributeurs eux-mêmes est extrêmement variable d'un réseau à l'autre. Toute distribution d'eau destinée à une collectivité publique ou privée doit au préalable avoir été autorisée par le préfet après avis du Conseil départemental d'hygiène ou du Conseil supérieur d'hygiène publique de France. Tout ce dispositif de contrôle vise à s'assurer que le distributeur met en œuvre tous les moyens nécessaires à la délivrance en permanence d'une eau de qualité satisfaisante.

Depuis quelques années, sous l'impulsion de l'Union européenne et des consommateurs, des règles précises de diffusion des informations ont été édictées. Il s'agit d'abord d'instaurer la confiance de la

population vis-à-vis de l'eau qu'elle consomme. Mais ces règles permettent également de sensibiliser les citoyens aux problèmes de pollution et aux risques sanitaires d'origine hydrique. Ces informations, en particulier les résultats analytiques du contrôle sanitaire, sont désormais transmises à chaque abonné avec la facture d'eau. Elles font aussi l'objet d'un rapport annuel synthétique présenté au Conseil municipal.

L'eau de distribution publique est un produit fragile. Contrairement à la plupart des autres denrées alimentaires, elle est contrôlée au moment même de sa consommation. Les risques potentiels sont donc importants puisqu'en général ils sont détectés alors que les consommateurs sont déjà exposés. C'est pourquoi des mesures rigoureuses de prévention et de parades efficaces ont été mises en place. La prévention repose sur l'instauration des périmètres de protection des ressources et des captages, des dispositifs de traitement adaptés et le pilotage en temps réel de la distribution. Outre une capacité de réaction permanente, la maîtrise des risques nécessite de disposer d'équipements et de solutions alternatives : alimentation par des ressources de secours, interconnexion avec d'autres réseaux, etc. Le tout doit être mobilisable sans délai.

Que se passe-t-il en cas de dépassement d'une limite de qualité ? On a compris que le dépassement d'une ou plusieurs limites de qualité ne correspond pas forcément à l'apparition d'un risque sanitaire inacceptable. Il faut cesser de terroriser le public chaque fois qu'une norme de qualité est dépassée. De nombreux paramètres influencent l'urgence et l'ampleur des moyens à mobiliser. L'importance de la population concernée, la fiabilité des informations disponibles, le type de danger, la latence d'apparition des effets, la durée de l'exposition, les solutions alternatives et leur réversibilité seront autant d'éléments à prendre en compte dans la décision. Par exemple, sauf situation d'urgence et de danger extrême, la coupure de l'approvisionnement doit être exclue. Les conséquences pourraient en effet s'avérer plus graves pour la population que le maintien du service avec interdiction de consommation. La défense contre l'incendie ne serait plus assurée, les établissements sensibles comme les hôpitaux seraient en danger, il pourrait y avoir des désordres lors de la remise en fonctionnement (mise en dépression du réseau, casse de matériel...). Les gens pourraient avoir recours à des puits de qualité non

contrôlée. En général, les autorités préfèrent recommander de ne pas consommer l'eau polluée ou supposée telle. C'est ce qui se passe, par exemple dans les communes où la quantité de nitrates dans l'eau est régulièrement (et franchement) au-delà des valeurs limites : les femmes enceintes et les jeunes enfants sont invités à s'abstenir de consommer l'eau du robinet.

Les eaux de baignade

Se baigner à la campagne ou à la mer, nager dans les lacs, les torrents, les rivières, patauger sur les plages... voilà des activités saines et agréables. Saines, vraiment ? Il vaut mieux savoir où l'on plonge, car cette eau peut parfois constituer une exposition à un risque infectieux. La pollution microbiologique peut être d'origine fécale, humaine ou animale. Une commune voisine aura rejeté ses eaux usées sans traitement. Ou bien les toilettes d'un chalet de montagne auront contaminé le torrent. Il pourra aussi s'agir de paisibles moutons en transhumance dont les fèces auront suinté vers le lac d'altitude. La pollution pourra aussi être constituée de micro-organismes pathogènes aquatiques autochtones.

La transmission au baigneur des germes pathogènes de l'eau se fait par ingestion, par contact ou par inhalation. Le volume d'eau ingéré à l'occasion d'un bain est beaucoup moins important que le volume d'eau de boisson consommé quotidiennement. Mais une eau de surface est généralement beaucoup plus contaminée qu'une eau destinée à la consommation. Par ailleurs, les micro-organismes peuvent s'accrocher sur des particules solides, sédimentées ou en suspension. L'ingestion de ces particules peut apporter une dose de micro-organismes supérieure à la dose minimale infectante. De nombreuses épidémies d'infections intestinales chez des baigneurs ont ainsi été décrites. Les plus nombreuses mettent en cause le germe *Shigella sonnei*. Onze épidémies de ce type ont été dénombrées aux USA de 1985 à 1992, ainsi qu'une épidémie en France contractée dans un lac de l'Ain en 1996. D'autres agents infectieux ont été reconnus récemment dans des épidémies liées à la baignade : *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium parvum*, et même *Escherichia coli*. Tous ces agents pathogènes sont dus à une contamination fécale des eaux de baignade.

Des infections de la peau, des muqueuses, des oreilles et des yeux peuvent résulter du contact direct avec une eau de baignade. Ces affections sont d'autant plus fréquentes que la peau est irritée par le soleil ou le sable. Les micro-organismes responsables de ces affections peuvent être apportés par les baigneurs eux-mêmes ou par des eaux usées. C'est le cas de *Staphylococcus aureus* (responsable d'abcès cutanés) et des *Adenovirus* humains (responsables de conjonctivites et de pharyngites). Mais ces dernières infections, lorsqu'elles sont liées à la baignade, mettent plutôt en cause des micro-organismes aquatiques autochtones. C'est-à-dire parfaitement naturels ! Des bactéries telles que *Pseudomonas spp.* ont causé 41 épidémies de dermatites aux USA de 1985 à 1992. *Aeromonas hydrophila* déclenche l'infection de plaies, *Mycobacterium spp.* est responsable de lésions cutanées ou sous-cutanées. Toutes sont des agents reconnus de risque infectieux pour la baignade en eaux douces et saumâtres. Les cyanobactéries présentes naturellement dans l'eau produisent, à l'occasion de leurs efflorescences dans les eaux douces ou marines, différentes toxines qui provoquent des dermatites par contact. Enfin, des amibes autochtones peuvent être responsables de conjonctivites et d'abcès sous-cutanés. Certains micro-organismes intestinaux peuvent aussi causer des dermatites. Ainsi, les schistosomes, parasites des animaux et des oiseaux, apportés dans les eaux à la saison chaude par leurs fèces et leur urine, provoquent parfois chez les baigneurs des démangeaisons, des plaques rouges et une inflammation des ganglions. Certaines maladies sont causées par la pénétration d'un micro-organisme pathogène dans une blessure ouverte ou une abrasion de la peau. Ainsi, en eau marine, une bactérie autochtone, *Vibrio vulnificus*, peut provoquer des infections graves de plaies évoluant rapidement vers la septicémie. De même, en eau douce, le baigneur peut être infecté par des leptospires : ce ne sont ni des bactéries intestinales, ni des bactéries aquatiques ; elles sont apportées dans l'eau par l'urine des animaux infectés, domestiques ou sauvages.

En ce qui concerne l'exposition des baigneurs par inhalation d'aérosols naturels, les micro-organismes les plus dangereux sont des amibes thermophiles (c'est-à-dire qui aiment la chaleur). Elles peuvent se trouver dans les eaux douces réchauffées par une installation industrielle. Quelques cas ultrarares de méningo-encéphalites fatales dues à l'amibe *Naegleria fowleri* ont été répertoriées. Mais les épidé-

mies les plus fréquentes associées à ce mode d'exposition mettent en cause les légionelles, bactéries responsables de la maladie du légionnaire ou de la fièvre de Pontiac. Pénétrant profondément dans les poumons, les légionelles provoquent une inflammation aiguë des bronches pouvant provoquer la mort même chez des personnes en bonne santé. La fièvre de Pontiac est une variante moins virulente de la légionellose. Provoquant un « coup de fatigue » et une fièvre qui disparaît naturellement au bout de deux ou trois jours, la fièvre de Pontiac est rarement diagnostiquée. Cinq épidémies de légionelloses ont été dénombrées aux USA de 1985 à 1992. Quoi qu'il en soit, pas de panique : inspecter les environs suffit souvent à détecter les anomalies. Le nombre d'épidémies rapporté dans cette séquence des horreurs est somme toute assez faible.

Que faut-il penser de la piscine et de son goût chloré qui sent bon la sécurité ? Les maladies hydriques associées à la nage en piscine sont pourtant variées. Les plus fréquentes sont des infections de la peau, des yeux, des oreilles et des voies urinaires et sexuelles : impétigo, conjonctivites infectieuses, otites externes, pharyngites, infections à mycobactéries et à papillomavirus. Les infections intestinales sont beaucoup plus rares. Les eaux de piscine étant désinfectées et désinfectantes, les contaminants microbiens sont apportés par les baigneurs. Les muqueuses sont souvent irritées par l'excès des désinfectants dans l'eau, ce qui augmente leur sensibilité aux infections. Les plages des piscines contribuent à la contamination des eaux des bassins. Voilà pourquoi les règlements intérieurs des établissements de bain sont stricts : les baigneurs sont priés d'être propres, et les abords sont bien entretenus. La qualité microbiologique des eaux de piscine est contrôlée, mais les staphylocoques dorés sont les seuls micro-organismes pathogènes pris en compte pour le contrôle réglementaire des eaux de piscine. (Il est en effet bien rare que le problème microbiologique des piscines soit d'origine fécale.) Ces germes se rencontrent communément et en grande quantité sur la peau, les pellicules de cheveux, le périnée, et au niveau des voies nasales et des muqueuses pharyngées. Très résistants au chlore, les staphylocoques dorés constituent donc un excellent indicateur du nombre idéal de baigneurs dans un bassin. Il est vrai que les usagers des piscines n'ont pas accès à ce genre de données. Seule solution : faire confiance aux autorités compétentes !

3

L'ALIMENTATION

Dans les dix dernières années du ^{xx}e siècle, 53 Britanniques et deux Français sont décédés du nouveau variant de la maladie de Creutzfeld-Jacob. Ils forment les premiers rangs d'une contamination de l'espèce humaine par une maladie à prions qu'on détectait habituellement chez les bovins. Ce « saut d'espèce » d'un agent infectieux mal connu pourrait bien avoir des conséquences incalculables. Combien de victimes humaines pour le ^{xxi}e siècle ? 1 000, 100 000, un million d'humains atteints d'une maladie dégénérative incurable ? Nul ne sait. Les calculs des épidémiologistes ne peuvent actuellement percer une terrible énigme statistique.

Cette affaire va marquer les hommes pour de nombreuses décennies. Elle éveille le soupçon d'une nourriture trafiquée, modifiée, élaborée pour le profit d'une industrie et non pour la santé des populations. Avec la nourriture, on touche à l'intime et au fonds culturel des sociétés.

Arrivant sur le marché juste après l'épidémie des « vaches folles », les maïs et soja génétiquement modifiés ont fait l'objet en Europe d'un rejet massif tant des consommateurs que des gouvernants. En 1999, la contamination de poulets par de la dioxine (en fait des furanes) présente dans des farines alimentaires a jeté une nouvelle ombre sur la nourriture proposée par un secteur agroalimentaire de

plus en plus puissant, de plus en plus concentré. Les cas régulièrement rapportés d'intoxication par les salmonelles achèvent de jeter un doute persistant sur la sécurité alimentaire. Effet d'optique ? Hystérie aux *Listeria* pour paraphraser le titre bien inspiré d'une tribune dans un grand journal du soir ?

N'aurions-nous donc plus que des choix alimentaires suspects ? Un bifteck de vache folle ou une cuisse de poulet à la dioxine ? Avec des carottes aux nitrates ou des tomates transgéniques ? Un camembert aux *Listeria* ? Et pour le dessert, une tarte aux pommes traitées aux insecticides sucrée avec un édulcorant ? Comme boisson, de l'eau minérale radioactive et un bon cru au plomb et à l'amiante ? Ce menu effrayant mérite une étude attentive. Il s'agit de faire la part du vrai risque et du faux débat, de la psychose infondée et des enjeux réels de maîtrise des circuits alimentaires.

Les polluants de notre assiette peuvent être chimiques (dioxine, pesticides ou plomb), biologiques (l'agent de la maladie de la vache folle appelé prion et les *Listeria*) ou encore physiques (la radioactivité). Dans cette liste, seuls les végétaux transgéniques et la plupart des pesticides actuellement en usage sont des éléments nouveaux. Les prions ne sont pas une création de l'homme-apprenti sorcier, et la dioxine est pour une part d'origine naturelle. Certains pesticides sont extraits ou produits à partir de plantes, qui fabriquent ainsi leurs propres moyens de défense contre leurs prédateurs. Nos aliments contiennent en masse 10 000 fois plus de cancérogènes naturels que de cancérogènes d'origine industrielle, comme l'a montré le biochimiste américain Bruce Ames (le père des tests de mutagenèse) au début des années 1990. Ces cancérogènes sont naturellement produits par de très nombreux végétaux, comme les herbes aromatiques, mais aussi les pommes de terre, les carottes, etc. Il s'agit de molécules dont le potentiel cancérogène est démontré expérimentalement ou au moins fortement suspecté. Cependant, dans le même temps, ces plantes apportent fibres et vitamines dont le pouvoir protecteur vis-à-vis de certains types de cancers, digestifs notamment, est assez solidement établi.

La chimie dans notre assiette

Les origines de la contamination chimique des aliments

Les légumes et les fruits, la viande ou le poisson peuvent subir des contaminations à tous les stades de leur trajet, de la première cellule qui les constitue jusqu'à l'assiette.

Les pesticides, destinés à la lutte contre les microbes (bactéries et virus), les parasites, les champignons microscopiques, les insectes ou autres animaux, sont systématiquement employés dans l'agriculture, y compris par les jardiniers du dimanche, à tous les stades de la croissance de ces végétaux. De plus, le vent transporte des particules de poussière émanant d'installations industrielles proches ou très distantes qui vont se déposer sur la partie aérienne des légumes et des fruits. L'eau d'irrigation va parfois les enrichir en produits tels que nitrates, pesticides ou métaux lourds provenant de l'activité humaine (pratiques agricoles, industries – y compris les sites pollués abandonnés –, épandages de boues d'épuration...) mais aussi, parfois, en éléments dangereux d'origine naturelle. Ainsi a-t-on dû fermer certains captages d'alimentation en eau potable car la concentration d'arsenic dans l'eau du robinet y était particulièrement élevée en raison d'un terrain géologique particulier. Il en résultait un niveau de risque de cancer inacceptable par le biais de l'eau de boisson ou par arrosage des fruits et légumes.

Les animaux terrestres ou aquatiques peuvent pour leur part concentrer les éléments stables (dioxine ou métaux lourds par exemple) présents dans leur propre alimentation. Des vaches en pâture sur des terrains situés sous le vent d'installations industrielles, ingèrent ainsi de l'herbe, et une quantité non négligeable de terre sur lesquelles se sont déposées des particules contaminées évacuées par la cheminée de l'usine voisine. En 1998, dans la région lilloise, on a retrouvé dans du lait de vaches des dioxines provenant d'incinérateurs d'ordures ménagères voisines. En broutant, les vaches assimilent cette molécule qui se concentre dans leurs graisses, et dans leur lait que l'on utilise ensuite dans l'alimentation humaine. Pas du tout altérées par les sucs digestifs, les dioxines peuvent alors s'accumuler dans les corps gras humains. Cette notion de chaîne alimentaire peut avoir des conséquences inattendues. Les Inuits du Grand Nord

sont parmi les populations au monde dont l'imprégnation par différentes molécules potentiellement toxiques (PCB, dioxine, DDT et ses produits de dégradation...) est la plus importante, alors que l'industrialisation de leurs régions est quasi inexistante. Leur alimentation est essentiellement d'origine animale, comportant notamment des mammifères marins, lesquels se nourrissent de poissons eux-mêmes nourris d'autres poissons qui eux-mêmes se nourrissent de micro-organismes, pour arriver à la contamination des sédiments, phénomène physico-chimique passif qui résulte de l'apport de polluants charriés par les fleuves, et de la dispersion sur les océans de gaz et aérosols d'origine continentale.

Vivre à proximité d'une installation émettant ce genre de polluants n'est pas forcément synonyme d'un surcroît d'exposition qui soit mesurable. Cela dépend de nombreux facteurs, au premier rang desquels la quantité de polluants émise par l'installation. Si cette quantité est faible, on ne verra pas de différence dans l'imprégnation des populations riveraines par rapport à la population générale. Tout dépend aussi de la dispersion des productions locales. Si la population locale s'approvisionne directement et quasi exclusivement à la ferme proche du lieu de contamination, il y aura augmentation des risques de concentration des polluants.

Transformation des produits alimentaires

La plupart des produits subissent des transformations avant consommation. Les fruits et légumes sont habituellement lavés ou pelés, ce qui diminue la dose de polluants ingérés. L'élimination de la peau et de la graisse des aliments d'origine animale assure le même résultat. La pêche en eau douce à l'aide de poison est une pratique traditionnelle dans certaines régions d'Afrique. Les poisons utilisés, originellement végétaux, ont été remplacés par des pesticides (herbicides ou insecticides). Y a-t-il un risque nouveau pour le consommateur de poisson ainsi pêché ? Pas fatalement. Les doses massives utilisées provoquent une mort instantanée des poissons, ce qui empêche la diffusion du poison en dehors de l'appareil digestif que l'on ne consomme pas puisque les poissons sont vidés. Il pourrait cependant perdurer un risque pour les poissons ayant subi une intoxication non mortelle par ces pesticides et pêchés ultérieurement.

La cuisson des aliments dans l'eau va le plus souvent diluer et éliminer un certain nombre d'éléments solubles dans l'eau, mais peut en apporter d'autres si l'eau de cuisson contient elle-même des éléments chimiques potentiellement dangereux (arsenic par exemple). Le poêlage avec de la matière grasse, et surtout les pratiques de rôtissage (grillades, rôtis) vont créer des cancérogènes bien connus : les hydrocarbures poly-aromatiques (HAP, voir p. 306). À l'inverse, d'autres molécules potentiellement dangereuses vont être dénaturées par la chaleur. Les teneurs en PCB (dérivé chloré) et DDT des aliments sont diminuées quel que soit le mode de cuisson.

En élevage industriel, on administre divers activateurs de croissance (antibiotiques, hormones) qui vont se retrouver à l'état de trace dans les morceaux consommés. Le risque éventuel de ces pratiques pour le consommateur fait l'objet de vives controverses opposant depuis des années l'Europe aux producteurs de bovins nord-américains. Les résidus d'antibiotiques dans la viande consommée pourraient contribuer à la sélection de souches bactériennes dangereuses en elles-mêmes et surtout résistantes aux traitements antibiotiques humains disponibles. Certaines des six hormones de croissance utilisées dans l'élevage pour améliorer le poids et la masse musculaire des animaux tout en diminuant la part de graisse sont considérées par les experts de l'Union européenne comme potentiellement cancérogènes, car mutagènes¹ (notamment le 17- β -oestradiol). Des effets toxiques sur le système immunitaire sont suspectés mais ils ne sont pas prouvés.

Enfin, les additifs utilisés par l'agroalimentaire sont innombrables : agents de texture, de sapidité, de goût, de conservateurs, de colorants... Les molécules employées offrent en principe une totale garantie d'innocuité, de même que les procédés physiques utilisés essentiellement pour la conservation ou la présentation : conservation en atmosphère inerte, ionisation, cuisson, lyophilisation ou extrusion. L'utilisation extrêmement répandue de certains additifs peut poser problème. Il devient très compliqué, par exemple, d'alimenter un bébé allergique à la lécithine de soja, produit que l'industrie agroalimentaire utilise très largement.

1. Voir ce terme dans le glossaire en page 327.

De l'exposition à la dose ; de la dose au risque

Personne ne mange la même chose dans les mêmes quantités. La cuisine varie selon le milieu familial ou le groupe social, et l'on ne s'approvisionne pas aux mêmes endroits. Les doses de polluants divers reçues par les individus sont donc éminemment variables. Elles ne sont jamais nulles, sauf à refuser de s'alimenter...

Les additifs utilisés sont trop nombreux pour qu'il soit envisageable de traiter un par un les risques qu'ils peuvent entraîner. Les industries agroalimentaires sont extrêmement inventives. Cependant, on soupçonne fortement certains de ces produits d'être responsables d'altération du métabolisme normal des hormones sexuelles chez un certain nombre d'espèces animales. C'est à ce genre de substances, appelées pseudo-hormones (ou xéno-hormones), qu'est attribuée par exemple une féminisation des alligators de Floride que l'on constate depuis les années quatre-vingt. Leur éventuel retentissement sur la santé humaine reste largement discuté par les scientifiques.

En ce qui concerne le risque cancérigène, il est impossible, avec les méthodes scientifiques actuellement disponibles, d'estimer les effets conjoints de ces molécules sur la santé humaine. Le nombre des molécules en cause et leurs proportions relatives sont hautement variables d'un lieu à l'autre et dans le temps. On ne peut les aborder que molécule par molécule ou agent par agent par l'expérimentation animale ou par l'épidémiologie. Ces incertitudes et ces insuffisances ne doivent pas faire oublier qu'une bonne alimentation doit être avant tout équilibrée. Le constat que l'alimentation de type méditerranéen a un effet favorable sur l'espérance de vie ou la mortalité par cancers ou encore la mortalité cardio-vasculaire malgré les éléments toxiques naturels ou artificiels qu'elle apporte, ne peut être que rassurant. Il est probable qu'une alimentation de ce type, qui se répand dans les pays industrialisés, contribue à l'extraordinaire allongement de l'espérance de vie, en France notamment.

• Notre assiette contrôlée

En France, la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF), qui dépend du ministère des Finances, et la nouvelle Agence française de sécurité

sanitaire des aliments (AFSSA), qui relève des ministères chargés de l'Agriculture, de la Santé et, comme la DGCCRF, du ministère des Finances, sont chargées de la surveillance de la qualité des aliments et donc de la protection des consommateurs. L'AFSSA a pris en charge la gestion en France de la crise du poulet belge contaminé par la dioxine. C'est également cet organisme qui fera dorénavant appliquer et évoluer la réglementation française sur les normes de concentrations de polluants en tous genres dans les aliments, microbes inclus. Le contrôle des niveaux alimentaires d'éléments radioactifs d'origine naturelle ou artificielle, reste du ressort de l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI).

Les risques microbiologiques

Une toxi-infection alimentaire est un accident alimentaire d'origine bactérienne. Ce terme recouvre en fait deux entités distinctes. L'intoxication résulte de l'ingestion d'une toxine bactérienne qui seule intervient, la bactérie n'étant pas nécessairement présente dans l'aliment. La toxi-infection alimentaire au sens strict est due à l'action conjointe de la bactérie qui se multiplie et de la toxine qu'elle élabore. C'est le mode d'action de la salmonellose.

Lors d'un banquet de 100 convives, un aliment contient une toxine ou une bactérie qui va être à l'origine d'une toxi-infection. Sur ces 100 personnes, toutes ne seront pas malades. En moyenne, 70 seulement le sont réellement, du fait de différences de sensibilités individuelles. Pourtant, uniquement 25 se sentiront suffisamment malades pour aller consulter un médecin. Dans seulement 10 cas, celui-ci jugera nécessaire de réaliser des analyses microbiologiques sur les selles du patient ou sur l'aliment suspecté. Enfin, dans 5 cas seulement, la réponse du laboratoire sera positive grâce à l'identification du germe en cause. Consciencieusement, le responsable du laboratoire aura déclaré ces cas groupés (5 sur les 100 du départ !), à la DDASS ou aux Services vétérinaires (la DSV), qui rechercheront la cause. Souvent, hélas, les quelques cas se répartissent sur plusieurs médecins ou laboratoires, et aucun ne perçoit réellement qu'il a à faire à une toxi-infection alimentaire collective (TIAC).

Ce scénario tout à fait réaliste montre bien qu'en matière de toxi-infections alimentaires, le système de surveillance épidémiologique ne permet de repérer, le plus souvent, les accidents collectifs de grande importance. Tous les accidents individuels et familiaux ne sont pas répertoriés ni déclarés. La réalité du risque microbiologique alimentaire est donc sérieusement sous-estimée. Si, depuis quelques années, on en parle plus, c'est moins que notre assiette fourmille aujourd'hui, plus qu'avant, de petites bêtes que parce que le dispositif de surveillance sanitaire est de plus en plus vigilant et efficace. Les intoxications étaient beaucoup plus nombreuses du temps de la « saine » alimentation de nos grands-mères.

Certains accidents alimentaires sont bénins et entraînent seulement vomissements, diarrhées, nausées. D'autres peuvent conduire à la mort (botulisme, listériose, certaines salmonelloses). Ces accidents alimentaires ont également un coût élevé pour la société : arrêt de travail, invalidité, achat de médicaments... De plus, les entreprises productrices des produits mis en cause peuvent subir des pertes importantes. La société Tradilège a fait faillite suite aux accidents causés par *Listeria* dans ses rillettes, certains fabricants du fromage l'Époisse, le camembert de marque Le Petit ou les rillettes Prédault ont dû fermer temporairement leur usine et ont perdu des marchés...

Les aliments impliqués dans ces accidents alimentaires sont principalement d'origine animale. Il s'agit surtout de viandes fraîches (steaks hachés) et de produits à base de viande (plats cuisinés, charcuterie), de préparations à base d'œufs (source majeure de salmonellose), de lait et dérivés laitiers, et de pâtisseries. En France, les salmonelles sont responsables de 5 000 accidents alimentaires par an, loin devant les 1 300 cas de *Staphylococcus aureus* (le staphylocoque doré) et les 900 attribués à *Clostridium perfringens*. On dénombre 500 à 700 cas par an de listériose, chiffre qui est 2 fois plus faible qu'il y a 10 ans. Les deux tiers de ces cas concernent des personnes présentant une baisse des défenses immunitaires (malades du sida, très jeunes enfants, femmes enceintes...).

Les toxi-infections alimentaires à salmonelles

Les toxi-infections alimentaires salmonelliques se traduisent par une gastro-entérite fébrile de gravité variable suivant les individus, pouvant entraîner la mort chez des personnes fragiles. Les salmonelles sont des bacilles appartenant à la famille des entérobactéries. C'est le sérovariant *Salmonella typhimurium* qui est le plus souvent en cause, suivi par *S. enteritidis*; les autres membres de cette grande famille sont devenus très rares, mais tous sont potentiellement pathogènes pour l'homme.

Les troubles apparaissent après deux à trois jours d'incubation (durée proportionnelle à la quantité de germes ingérés, à la virulence de la souche et à la sensibilité des individus touchés). Mais il faut une quantité substantielle de germes (10^5 à 10^6 salmonelles) dans l'aliment pour les déclencher; si la dose ingérée est plus faible (10^2), l'individu sera « porteur sain ». Il ne sera pas malade mais excrétera des salmonelles dans la matière fécale. Une salmonellose se signale par une diarrhée importante avec des selles liquides, fétides, glaireuses, qualifiées de « soupe de légumes » et parfois teintées de sang. Cette diarrhée est toujours associée à des douleurs abdominales violentes, avec parfois des nausées et vomissements, une grosse fièvre (40 à 41 °C), un abattement important et des douleurs généralisées. Les symptômes durent 4 à 5 jours (parfois jusqu'à 10). Ils disparaissent spontanément dans la plupart des cas, sauf chez les personnes âgées et les nourrissons dont la déshydratation nécessite une hospitalisation. D'une manière générale, la mortalité est inférieure à 1 %, (0,2 % en 1997) avec 5 décès sur 5 000 cas uniquement des personnes âgées. Les antibiotiques sont déconseillés car ils favorisent la destruction bactérienne et entraînent une aggravation des signes cliniques, pouvant aller jusqu'au choc. Il faut plutôt utiliser des anti-diarrhéiques, des pansements intestinaux, des antipyrétiques² et, si nécessaire, réhydrater à l'eau sucrée.

La sensibilité de l'homme varie en fonction de l'âge (on observe des formes graves chez les plus jeunes et les vieux), et de l'état immunitaire (la vaccination contre les fièvres typhoïde et paratyphoïde entraîne une

2. Médicaments contre la fièvre

protection partielle contre la gastro-entérite à salmonelle). L'ingestion d'alcool pendant le repas diminuerait la gravité des symptômes !

• Quelle est l'origine des salmonelles ?

Les salmonelles sont des bactéries ubiquistes ; on en trouve partout. Elles survivent plusieurs mois dans le fumier et l'eau stagnante. L'alimentation des animaux joue un rôle important dans la transmission du germe. Il y a une dizaine d'années, des farines animales importées d'Amérique du Sud ont été distribuées dans un élevage de veaux. Ces farines étaient contaminées par *Salmonella agona*. On a retrouvé ces bactéries dans le tube digestif des veaux, puis sur la viande du fait d'une mauvaise hygiène d'abattage, et jusque dans les produits fabriqués à partir de cette viande. Il peut aussi y avoir contamination au moment du stockage des aliments d'élevage lorsque des rongeurs ou des oiseaux entrent dans les hangars. On considère que 20 % des volailles sont porteuses saines de salmonelles. Mais à la sortie de l'abattoir, 80 % des carcasses en ont à la surface de leur peau ! Heureusement, nos habitudes alimentaires comportent une cuisson à cœur avec ou non rôtissage des volailles. Ces pratiques détruisent les salmonelles.

Des mains mal lavées à la sortie des toilettes peuvent contaminer des denrées alimentaires si la personne est excrétrice de salmonelles dans la matière fécale. L'homme peut aussi avoir des pratiques non hygiéniques qui permettent la dissémination des germes. Ainsi, il ne faut pas poser un filet de bœuf sur une table où l'on a travaillé des volailles car la viande de bœuf peut être contaminée par les salmonelles.

On rencontre de plus en plus de porteurs sains chez les animaux de boucherie et les volailles, ainsi que chez l'homme où la proportion varie de 5 à 15 % de la population. La contamination est donc difficilement évitable. Il y aurait de plus en plus de salmonelloses du fait de l'internationalisation des échanges.

Si la contamination du produit est difficilement évitable, le plus souvent, cependant, il n'y a pas assez de salmonelles pour entraîner les symptômes. Car la multiplication des germes nécessite une rupture ou une déficience de la chaîne du froid. Ainsi, en 1996, dans la Loire, un restaurant scolaire a préparé de la mousse au chocolat en utilisant des œufs fermiers qui ont vraisemblablement été cassés dans

des conditions d'hygiène déplorables. Cette mousse est restée toute la matinée hors du frigo, ce qui a permis la multiplication des salmonelles. 80 % des enfants ont eu des symptômes nécessitant une hospitalisation. Par chance, il n'y a pas eu à déplorer de morts !

Pour prévenir les accidents alimentaires à salmonelles, l'idéal serait de supprimer les porteurs sains, mais il y en a dans toutes les espèces, notamment chez l'homme. C'est donc difficilement envisageable. Depuis octobre 1998, la détection de *S. typhimurium* et *S. enteritidis* est obligatoire dans les élevages de poules pondeuses pour limiter au maximum les salmonelles sur les œufs. Dès lors que des salmonelles sont isolées, un abattage des animaux est ordonné, de même qu'une désinfection rigoureuse des locaux. Cette mesure sanitaire devrait permettre rapidement la diminution de la contamination des œufs. Il est très difficile d'éviter les contaminations des denrées par les salmonelles. Un respect rigoureux de la chaîne du froid est cependant suffisant pour limiter la multiplication de ces bactéries dans les aliments et par là même, prévenir les accidents alimentaires bien qu'un laboratoire du Cemagref vienne de prouver que la *listeria* continuait à se développer à une température comprise entre zéro et trois degrés.

L'intoxication par staphylocoque

Il s'agit d'une intoxication alimentaire à caractère épidémique. La toxine est préformée dans l'aliment par certaines souches de *Staphylococcus aureus*. Cette intoxication se traduit par des vomissements d'évolution brève sans fièvre. Cent nanogrammes (milliardièmes de gramme !) de toxine suffisent à déclencher les symptômes ce qui est vraiment peu. Ainsi, un chou à la crème d'une restauration collective peut contenir 10 à 100 *S. aureus* par gramme. Au bout de 3 à 4 heures à température ambiante, il contient plusieurs millions de germes qui produiront au minimum 10 ng de toxine par gramme de crème... La toxine est résistante au suc gastrique et préformée dans l'aliment. Aussi, les vomissements apparaissent rapidement, en moyenne 3 à 6 heures après l'ingestion (de 1 à 18 heures dans les cas extrêmes), accompagnés de maux de tête et de nausées nécessitant parfois une hospitalisation chez des personnes âgées. Les symptômes s'apaisent en général en 24 à 48 heures, lorsque l'on a vomi le bol alimentaire.

La contamination de l'aliment par *S. aureus* se fait principalement par l'homme, secondairement par les animaux. L'homme contamine les denrées alimentaires comme porteur malade (panaris, volumineux furoncle, rhume) ou porteur sain (germes présents au niveau des mains, des avant-bras, du cou, de la nuque et du front, sans avoir de plaies. 25 à 30 % des personnes travaillant dans les industries agroalimentaires sont des porteuses saines de ce germe sur la peau. Cet état sans symptômes est toujours difficile à identifier. C'est pour cela que le port du calot enveloppant entièrement la chevelure, voire des gants et du masque bucco-nasal est obligatoire dans certaines industries de transformation des aliments. Gants et masques sont indispensables lors de la fabrication de produits à risques tel le steak haché.

Mais l'animal peut aussi être en cause. Les ruminants excrètent des staphylocoques dans le lait lors de mammites, troubles qui peuvent aussi passer inaperçus. Les volailles sont également porteuses au niveau des lésions des pattes et à la base des follicules plumeux.

Les voies de contamination de l'homme sont essentiellement liées à la manipulation des denrées. Plus un produit est touché, plus il risque d'être contaminé. Le staphylocoque peut aussi se développer par l'air ambiant (la fumée de cigarette, qui passe par le carrefour rhinopharyngé, les microgouttelettes riches en *S. aureus* formées lors de toux, éternuements, expectorations), et par le matériel préalablement contaminé par l'intermédiaire des lésions des volailles par exemple. Plus rarement, les insectes peuvent transporter le germe sur leurs pattes d'où l'intérêt des désinsectisations.

Pour prévenir les accidents de *Staphylococcus aureus*, il faut limiter au maximum la contamination des denrées alimentaires. Ceci sous-entend des pansements étanches sur les plaies cutanées, un lavage et une désinfection régulière des mains, le port de masques et de gants, la maîtrise des mammites à staphylocoques, et une hygiène rigoureuse de la traite. Il faut aussi limiter la multiplication des bactéries, donc la production de toxines, par une réfrigération précoce et continue à une température inférieure à 5 °C et par un respect rigoureux de la chaîne du froid. Enfin il est possible de détruire les staphylocoques présents, notamment par pasteurisation.

Des risques étroitement surveillés

Par la directive européenne du 14 juin 1993 appelée directive « hygiène », les industriels agroalimentaires sont désormais responsables devant les tribunaux civils et pénaux de la sécurité des aliments qu'ils commercialisent. Ainsi, l'industriel ayant fabriqué l'Épouse à l'origine de plusieurs cas de listérioses humaines a été mis en examen. Pour maîtriser l'ensemble des dangers microbiologiques mais aussi physiques et chimiques que peut présenter une denrée alimentaire, l'industriel doit mettre en place une procédure de maîtrise des dangers appelée HACCP (acronyme anglais pour Hazard Analysis Critical Control Point) dénommée en français « analyse des dangers – points critiques pour la maîtrise ». Il s'agit d'identifier de manière systématique, dans un procédé de fabrication, quels sont les points ou étapes décisifs en terme de sécurité alimentaire pour réellement maîtriser ces étapes. Ainsi de la stérilisation du lait. Cette méthode d'analyse et de prévention des risques intègre des règles d'hygiène générale. Les locaux doivent être conçus avec des sols et murs à surfaces imputrescibles, imperméables, lisses donc facile à nettoyer et à désinfecter. Les secteurs dits « sales » doivent être séparés des secteurs « propres » (exemple : la légumerie devra être séparée du secteur préparations froides). L'hygiène du matériel (couteaux, tables...), et du personnel doivent être irréprochables. Les ouvriers présentant des troubles digestifs et respiratoires ne doivent pas pénétrer dans l'usine et toute plaie cutanée doit être recouverte d'un pansement étanche protecteur. Les mains doivent être lavées et désinfectées régulièrement avec utilisation de lave-mains à commande non manuelle. Des coiffes enveloppant entièrement la chevelure, des blouses et des chaussures réservées au travail sont obligatoires. Dans certains cas, il faudra y ajouter des gants et un masque bucco-nasal.

Les industriels de l'agroalimentaire ont donc un rôle fondamental dans la sécurité alimentaire des denrées produites. Les services administratifs, (Services vétérinaires, Services de la répression des fraudes), ont, eux, pour principales fonctions le contrôle et l'inspection des établissements et le suivi des denrées alimentaires sur le plan sanitaire et qualitatif. Ils doivent également traquer les fraudes. Industriels et services officiels œuvrent donc avec le même objectif :

prévenir les accidents alimentaires dont on a vu qu'ils peuvent être mortels ou, dans une moindre mesure, être à l'origine de troubles digestifs de pénible mémoire.

Les manquements aux règles d'hygiène ont parfois des effets dramatiques. Les errements des farines animales contaminées et de la gestion du risque lié au prion pourraient bien avoir des conséquences incalculables. Le dossier du risque alimentaire est sans doute l'un des plus brûlants de l'heure. Il appelle une vigilance sans répit de l'ensemble des acteurs du secteur. Pour autant, une mise en perspective historique s'impose : notre assiette est, aujourd'hui, beaucoup plus sûre que celle de notre grand-mère.

Les prions et la maladie de la vache folle

Des bêtes à l'homme

La maladie de la vache folle ou encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) est une maladie neurologique des bovins adultes due à un agent transmissible appelé prion. Cet agent est dit « non conventionnel » car il ne répond pas aux caractéristiques usuelles des agents transmissibles. Cette affection se traduit par l'apparition de troubles nerveux évoluant sur plusieurs semaines à plusieurs mois. L'issue est toujours fatale. La maladie se caractérise par une encéphalite spongiforme, c'est-à-dire que certaines zones de l'enveloppe du cerveau prennent une allure d'éponge, lors de l'analyse au microscope.

Les bovins ne sont pas les seuls à présenter des encéphalopathies spongiformes. Des visons d'élevage, des chats domestiques et des moutons en sont également victimes. Chez l'homme, on en identifie trois types. Le Kuru atteint certaines populations de Nouvelle-Guinée qui pratiquent le cannibalisme de l'encéphale. Cette maladie ne conserve plus, à l'heure actuelle, qu'un intérêt historique. La maladie de Creutzfeld-Jacob entraîne une sénilité précoce (55-60 ans). Connue depuis longtemps, elle concerne environ une personne sur un million. C'est, de loin, l'encéphalopathie humaine la plus fréquente. La troisième forme, l'insomnie familiale fatale, est une maladie héréditaire qui ne concerne que très peu d'individus dans le monde.

L'encéphalopathie spongiforme bovine affecte le système nerveux d'animaux adultes. Il ne s'agit ni d'un agent viral, ni d'un agent bactérien. Tous les animaux succombant à cette affection ont une protéine dans le système nerveux appelée PrP^{sc} pour Protéine Prion. Cette protéine est indispensable à la transmission de la maladie ainsi que l'ont prouvées des expérimentations animales. Plus la protéine est présente, plus la maladie est facilement transmissible et plus la mort est rapide.

La résistance de cette protéine prion envers les agents physiques et chimiques usuels (rayonnements, chaleur, désinfectants...) est tout à fait exceptionnelle. Sa destruction n'est obtenue qu'au bout de 18 mn à la température de 136 °C ! Tous les désinfectants chimiques sont quasiment inefficaces.

Le prion dérive d'une protéine présente à l'état normal chez tous les individus qui, elle, est beaucoup moins résistante. Similaire chez toutes les espèces animales, elle est synthétisée par la plupart des tissus, mais principalement par le tissu nerveux. Cette protéine normale jouerait un rôle dans la régulation des mouvements ainsi que dans la physiologie du sommeil.

Le prion semble obliger la protéine normale à changer de conformation physique en lui servant de moule. Au contact du prion, la protéine normale devient du prion : il y a donc amplification du phénomène. La protéine va alors s'accumuler dans les tissus et déclencher une mort cellulaire notamment dans le tissu nerveux où elle est à l'origine des lésions en « éponge ». Les matières biologiques les plus contaminées par le prion, et donc contaminantes, sont le système nerveux (encéphale, la moelle épinière), la rétine, l'intestin et la rate.

Chez les bovins, l'incubation peut s'étendre de 2 à 9 ans avec une moyenne à 2,5 ans. Les symptômes locaux et neurologiques sont de loin les plus importants, avec apparition de troubles du comportement (anxiété, nervosité, grattage et léchage incessants), puis de troubles de la sensibilité (hyperexcitabilité), et enfin, de troubles de la locomotion : boiteries, tremblements, chutes fréquentes. Toutes ces manifestations vont en s'amplifiant. En phase terminale, l'animal reste couché en permanence et finit par mourir. La durée d'évolution entre l'apparition des premiers symptômes et la mort va d'un minimum de 15 jours à plusieurs mois. En règle générale, l'évolution s'effectue sur 5 à 6 mois.

La maladie de la vache folle a officiellement fait son apparition en avril 1986 en Grande-Bretagne et c'est là que l'on a dénombré le plus grand nombre de cas au monde. Ce nombre a augmenté progressivement et constamment jusqu'en 1992. Depuis, il est en diminution progressive constante, mais reste à un niveau élevé en Grande-Bretagne : 5 000 en 1996, 2 000 en 1998, alors qu'en France on a compté 81 cas en 1999. C'est d'ailleurs cette situation toujours pré-occupante qui a poussé les autorités sanitaires françaises à refuser le retour du bœuf britannique dans nos assiettes. Le nombre de cas cumulés d'ESB déclarés en Grande-Bretagne depuis 1986 serait actuellement proche de 180 000 alors qu'en France survenait le 80^e cas à la fin de l'année 1999.

La question de l'origine du premier cas reste encore posée. Est-ce la farine de viande obtenue à partir de cadavres de moutons contaminés mais n'exprimant pas la maladie qui est à l'origine du premier cas d'ESB ? La tremblante du mouton, assimilable à l'ESB, existe depuis au moins deux siècles, sans transmission apparente à l'homme ou aux autres bêtes d'élevage. Les scientifiques sont encore très partagés sur la question.

Les vaches anglaises sont-elles folles ?

La situation exceptionnelle du Royaume-Uni est liée au barème de chauffage trop bas utilisé lors de l'équarrissage. En effet, les cadavres d'animaux sont transformés après broyage, chauffage et tamisage, en farine de viande. Cette farine est ensuite intégrée dans l'alimentation des animaux, dont les bovins. Le Royaume-Uni est le seul pays de l'Union européenne qui utilisait un mode de chauffage inférieur à 120° pour détruire la protéine prion. D'autre part, seuls les animaux présentant des troubles nerveux sont abattus.

La France a ainsi été moins touchée d'abord parce que l'apport en farine animale représentait moins de 1 % du régime alimentaire des ruminants avant 1989. Les normes d'incinération n'ont ensuite jamais été abaissées et la moindre apparition d'une vache folle implique l'abattage immédiat de tout le troupeau.

Les autres pays européens sont beaucoup moins concernés par l'ESB que le Royaume-Uni. L'Office international des épidémies ani-

males (épizooties) a comptabilisé en France environ 80 cas cumulés depuis que l'épidémiologie-surveillance de la maladie a été établie, environ 320 en Suisse, 330 au Portugal et près de 400 en Irlande. De manière étonnante, l'Allemagne, les Pays-Bas et la Belgique déclarent chacun moins de 10 cas. Le système de déclaration ne paraît pas parfaitement comparable d'un pays à l'autre. En France, les animaux atteints sont surtout des vaches laitières, en particulier dans les élevages bretons.

L'origine de la contamination des bovins est discutée. On pensait que les animaux avaient été atteints par ingestion de farine de viande contaminée provenant du Royaume-Uni. Mais des cas sont apparus et continuent d'apparaître chez des animaux « Nés Après l'Interdiction des Farines » (animaux dits NAIF) et donc après l'arrêt de leur importation. On ne connaît pas l'origine de cette contamination (utilisation frauduleuse de farines de viande ? Transmission *in utero* ?).

Entre 1985 et 1989, les circuits commerciaux britanniques se seraient débarrassés de leur farine empoisonnée en la vendant aux autres pays, dont la France. En décembre 1989, l'importation de farine de viande provenant du Royaume-Uni a donc été interdite. Le 24 juillet 1990, toutes les protéines animales (sauf lait, œufs et poissons) ont été interdites en France dans l'alimentation des bovins. Le 20 décembre 1994 cette interdiction a été élargie à toute l'Europe. Ces décisions avaient donc été prises par précaution, avant que le ministre britannique de la Santé annonce, au « Parlement » en avril 1996, que l'hypothèse d'une transmission à l'homme de l'agent responsable de l'ESB ne pouvait être exclue provoquant un cataclysme médiatique, politique... et économique, pour toute une profession, au Royaume-Uni comme sur le continent !

Depuis juin 1996, on incinère obligatoirement l'encéphale, la moelle épinière et les yeux des bovins de plus de 6 mois et des ovins et caprins de plus d'un an pour empêcher le recyclage de produits potentiellement contaminés. On élimine également le thymus, les amygdales, la rate et les intestins des bovins nés avant 1991 et importés avant 1991. Toutes ces parties saisies sont envoyées à l'équarrissage avec un chauffage à une température supérieure à 133 °C pendant 20 minutes, sous une pression minimale de 3 bars, les fragments devant être réduits préalablement en petite taille. Puis les farines sont incinérées dans des fours d'incinérateurs à une température de 1 500 °C.

Pour rassurer le consommateur, et permettre la traçabilité des produits, une marque collective a été créée : VBF (viande bovine française). Cette marque devrait permettre de suivre la viande de la carcasse jusqu'à l'assiette du consommateur. Pour cela, il faut une parfaite identification initiale des bovins et leur suivi. Malgré ces progrès, la traçabilité n'est pas encore parfaite, notamment en aval des filières (fabrication de plats cuisinés), mais des efforts considérables sont faits.

En mai 1996, les dispositifs médicaux contenant des produits d'origine bovine ont été interdits. Des mesures concernant les préparations médicamenteuses à base de produits d'origine bovine ont également été prises. Dès avril 1996, les aliments pour bébé contenant du système nerveux, de la moelle épinière, des yeux de bovins, avaient été interdits. Avec ces mesures, le consommateur a appris soudain que les abats d'animaux avaient de nombreuses applications dans leur nourriture sans qu'il le sache dont notamment les gélifiants qui donnent une couleur, attirent et cohésion aux produits transformés comme les crèmes glacées, les bonbons, etc. La suspicion frappe dorénavant l'ensemble des circuits de production, de transformation et de distribution de l'alimentation.

On pense donc depuis 1996 que le prion de la maladie de la vache folle pourrait être transmissible à l'homme et provoquer une nouvelle variation de la maladie de Creutzfeld-Jacob. Cette maladie a en effet deux variants. Le variant habituel représente la majorité des cas d'encéphalopathie spongiforme chez l'homme. Cette forme sporadique (1 cas par million d'habitants) représente 85 % des cas de maladie de Creutzfeld-Jacob. Son origine est inconnue. Elle touche des personnes âgées de plus de soixante ans. La forme héréditaire touche 100 familles en Europe, soit 14 % des cas de la maladie. Il s'agit là d'une modification du gène codant pour le prion. Pour 1 % des cas, les personnes sont atteintes lors de traitements médicaux (c'est le cas de l'hormone de croissance contaminée par le prion) ou d'interventions chirurgicales (opération du système nerveux avec du matériel utilisé avant sur une personne développant la maladie de Creutzfeld-Jacob).

À côté de ces variants « habituels » sont apparus en 1989 au Royaume-Uni, de nouvelles formes de la maladie qui se caractérisent par une démence très précoce. Celle-ci apparaît en effet en moyenne

vers 29-30 ans et peut même commencer à 18 ans. Les personnes atteintes présentent des modifications du comportement, troubles de la personnalité, état dépressif et troubles de la mémoire. On constate aussi des contractions très douloureuses des muscles des jambes. L'évolution, dramatique, se fait sur un an et conduit toujours à la mort. Or, ces nouveaux variants de Creutzfeld-Jacob sont apparus essentiellement au Royaume-Uni (53 cas cumulés fin 1999, contre deux en France), là même où sévissait l'ESB. D'où l'hypothèse de la relation de cause à effet.

La transmission naturelle de l'ESB par voie orale a été observée chez les félinés : chat (77 cas au Royaume-Uni), puma, guépard, tigre, antilope et élan vivant en parcs zoologiques. La transmission expérimentale de l'ESB par voie orale est possible chez les ovins et caprins, le vison, la souris mais pas chez le porc. Elle est en plus possible par voie intracérébrale chez le porc, le ouistiti et le macaque. Il n'y a pas de certitude actuellement sur le passage du prion à l'homme mais des présomptions de plus en plus insistantes vont dans ce sens, surtout à cause des cas nouveaux variants de Creutzfeld-Jacob. Compte tenu de l'incubation longue de la maladie, seul l'avenir nous dira si la pratique qui consistait à donner à nos vaches des farines de viande issues de cadavres bovins, dans un souci évident de rentabilité, ne se retournera pas contre l'espèce humaine !

Les organismes génétiquement modifiés (OGM)

Au cours des années soixante-dix, les chercheurs, puis les milieux industriels, prennent conscience des extraordinaires potentialités du génie génétique pour des applications aussi diverses que la production de vaccins ou l'amélioration des performances agronomiques des cultures. Les biotechnologies existent depuis que l'Homme est pasteur ou planteur. Par des tâtonnements étalés sur des siècles, voire des millénaires, il a trouvé comment fabriquer des fromages, de la bière, sélectionner des plantes adaptées à divers climats ou croiser ses bêtes pour qu'elles lui donnent plus de lait. Le génie génétique représente une forme particulière de ces biotechnologies classiques. Ici, l'Homme transgresse les barrières d'espèce (par exemple, il sait maintenant incorporer les gènes d'une bactérie dans

les germes du colza), et opère de manière extrêmement sélective, en « jouant » sur un caractère spécifique de l'animal ou de la plante dont il cherche à modifier une fonction.

Forme particulière ou rupture ? Depuis vingt-cinq ans, l'histoire s'est accélérée. Des milliers d'entreprises *high tech* se sont développées, principalement (mais pas seulement) aux États-Unis, pour s'engouffrer dans cet *el dorado*. Après les plantes résistantes à des herbicides ou insecticides, ces « bio-industries » proposent aujourd'hui une palette sans cesse croissante de nouveaux produits issus du génie génétique, tels que du tabac fabricant de l'hémoglobine, de l'insuline, le facteur antihémophilique ou un vaccin contre l'hépatite B, et des plantes particulièrement riches en huiles à usage industriel (savons, détergents, lubrifiants, encres, polymères...) ou en protéines, du coton de couleur, etc. La génétique nous offre ainsi des sources simples et inépuisables pour produire facilement des médicaments ou des molécules de première nécessité. Les surfaces cultivées de plantes transgéniques dans le monde dépassent déjà 25 millions d'hectares, principalement en Amérique du Nord, mais aussi en Chine, en Argentine et, de manière plus limitée, en Europe. La moitié des surfaces cultivées en soja aux États-Unis, et 40 % pour le maïs l'étaient en espèces OGM en 1999. L'Argentine y consacre 70 % de son soja.

L'effroi saisit l'opinion publique. Ne va-t-on pas trop vite, trop loin ? S'est-on assuré qu'on ne joue pas à l'apprenti sorcier ? Le débat autour des plantes destinées à l'industrie agroalimentaire est particulièrement aigu, où se côtoient des considérations sanitaires, écologiques, géostratégiques et éthiques. Faut-il avoir peur des OGM dans notre assiette ?

Des risques ? Quels risques ?

Les comités d'experts scientifiques habilités à donner un avis sur la production de plantes OGM étudient plus précisément la sélection d'espèces végétales ou de « ravageurs » (parasites, insectes...) résistant aux traitements, « l'équivalence en substances » de ces plantes, la possibilité d'un transfert de gènes introduits dans les végétaux OGM vers d'autres espèces (y compris l'homme), et leur innocuité. On craint, en effet, que le gène, qui rend par exemple un maïs résistant à

un herbicide, puisse être transmis aux « mauvaises » herbes voisines. Ce serait alors une catastrophe car les agriculteurs n'auraient plus aucun moyen de lutter contre des plantes indésirables résistant à tous les traitements phytosanitaires.

La survenue d'espèces résistantes aux traitements est une question d'ordre écologique. Le gène modifié peut-il se transmettre à une autre espèce ? De nombreux travaux scientifiques apprécient actuellement ce risque tout à fait réel, avec cependant de grandes variabilités selon les toxines, les insectes ou les parasites utilisés, obligeant à un examen au cas par cas. D'ores et déjà, les agronomes inventent des stratégies pour éviter le développement d'insectes porteurs de gènes de résistance. On installe par exemple des « champs OGM » et « non OGM » en voisinage. Les parcelles « refuge » non OGM assurent un croisement des insectes adeptes des premiers et des seconds types de champs, diluant ainsi des phénomènes de sélection génétique. Par ailleurs, plusieurs espèces de plantes OGM cultivées n'ont pas la possibilité de produire des hybrides dans nos régions, et sont donc peu susceptibles de « contaminer » d'autres espèces. C'est par exemple le cas du maïs transgénique, dont la culture avait été autorisée en France en 1998, avant d'être suspendue par décision de justice.

Le concept « d'équivalence en substances » repose sur l'idée que les aliments existants peuvent servir de point de comparaison pour l'évaluation des nouveaux aliments. Si ce nouvel aliment est jugé « substantiellement équivalent » à un aliment traditionnel existant, on peut le considérer comme sûr. La détermination de l'équivalence est réalisée au cas par cas, en considérant l'origine de la plante hôte du gène transféré, sa teneur en nutriments mais aussi en toxines, son éventuel caractère allergisant, ainsi que les caractéristiques du donneur de gène et des fonctions de ce gène transféré. Les critères discutés par les experts sont donc nombreux.

Troisième discussion : le gène introduit dans une plante pourrait théoriquement s'incorporer dans la flore microbienne intestinale du consommateur. Ce risque sérieux pourrait par exemple conduire à la sélection de germes résistants à des antibiotiques, si la culture est « dopée » par un gène de résistance au traitement antibactérien des plantations. La multiplication actuelle de phénomènes de résistance aux antibiotiques (due notamment à un usage immodéré des antibiotiques

en élevage et en thérapeutique humaine) rend la communauté scientifique très sensible à cette question. La probabilité d'un transfert d'un tel gène de résistance à des bactéries intestinales est jugée très faible. Mais, compte tenu des centaines de milliards de bactéries d'espèces différentes composant la flore digestive, un tel transfert n'est pas impossible. La question est encore débattue, et des études sont en développement.

La toxicité éventuelle de protéines nouvelles produites par les gènes intégrés dans les plantes OGM est aussi très étudiée. On conduit actuellement une batterie de tests toxicologiques sur animal de laboratoire, selon des règles qui tendent progressivement à être standardisées afin d'en faciliter l'interprétation. Les autorités et experts s'inquiètent des risques allergiques qui pourraient être liés aux protéines nouvelles. En effet, indépendamment des OGM, on assiste à une augmentation inquiétante de sujets allergiques (de 10 à 40 % selon les études), et il est vraisemblable que les modifications récentes de notre alimentation (avec l'introduction d'aliments exotiques nombreux) soient pour partie responsables de cette situation. Il semble établi qu'une protéine issue d'un procédé de biotechnologie n'est pas plus allergénique qu'une protéine « naturelle ». Mais il convient d'être très attentif, en effectuant des tests systématiques, par analyse biochimique et expérimentations animales.

L'évaluation toxicologique des nouveaux aliments est plus conventionnelle. Elle fait appel à des tests de toxicité sur animal, notamment sur des rats, et l'étude de leurs éventuelles propriétés génotoxiques, selon des procédures comparables à celles employées pour les substances chimiques. La recherche d'éventuels effets inattendus est plus problématique, car ce qui caractérise les effets inattendus est qu'ils soient... inattendus ! Quoi chercher ? Comment repérer des troubles ? Diverses approches d'analyses biochimiques et de tests de tolérance sur animal sont mises en œuvre, mais elles ne sont guère standardisées actuellement. Ces travaux ont conduit à développer des méthodes d'analyse et des procédures de sécurité qui profitent à l'ensemble de la filière agroalimentaire, OGM ou non, cette dernière n'ayant jusqu'alors pas fait l'objet d'études aussi systématiques.

La réponse des pouvoirs publics

Les bases réglementaires et les procédures d'évaluation de l'innocuité des nouveaux aliments, notamment ceux issus du génie génétique, ont été définies par l'Union européenne en février 1997. L'instruction des dossiers se fait d'abord dans chaque État membre, puis, s'il y a lieu, au niveau communautaire. La Commission du génie biomoléculaire (qui dépend des ministères de l'Agriculture et de l'Environnement) et l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) sont compétentes pour l'expertise scientifique des dossiers en France. Le Conseil supérieur d'hygiène publique de France concourt aussi à cette mission d'expertise, notamment en proposant les lignes directrices pour la sécurité d'emploi des OGM en alimentation humaine. En cas de désaccord entre les instances nationales des États membres Bruxelles arbitre, sur avis du Comité scientifique de l'alimentation humaine, comité d'experts scientifiques indépendant des instances de réglementation et de contrôle. Compte tenu de la complexité des facteurs à prendre en compte pour apprécier l'innocuité des produits et aliments OGM, on ne peut s'étonner que les diverses commissions d'experts aboutissent parfois à des positions (apparemment) discordantes. Après les risques chimiques, qui font l'objet de procédures maintenant assez bien normalisées, les approches suivies dans chaque État et au sein de l'Union européenne apporteront progressivement au décideur et au consommateur les données autorisant des arbitrages éclairés et consensuels sur ces risques bien nouveaux. Comme pour le risque microbiologique ou chimique « traditionnel » dans l'alimentation, le risque nul peut être un objectif d'action pour l'ensemble des acteurs scientifiques, politiques, industriels et agricoles, qui se doivent d'être inspirés par le principe de précaution mais, comme l'infini, cet objectif est une chimère.

En matière de cultures OGM, Europe et États-Unis ont des positions très différentes. Depuis 1986, le Congrès américain a légiféré de manière très libérale, considérant que les produits issus des biotechnologies ne différaient pas fondamentalement de ceux obtenus par des procédés conventionnels. Dès lors, les dispositifs de contrôle de la sécurité alimentaire n'avaient pas à être bouleversés. Au contraire, inspirées avant la lettre par la démarche de précaution, les réglementations

européennes posent par principe que le génie génétique conduit à des situations de risque. L'innocuité de ses productions doit donc être établie de manière spécifique. Fin 1999, l'Europe a décidé, au grand dam des États-Unis, de rendre obligatoire l'étiquetage des produits alimentaires contenant au moins 1 % d'OGM. Une norme technique visant à définir les conditions du dépistage biochimique de telles substances devrait voir le jour d'ici 2001. Début 2000, un Protocole sur la biosécurité a été adopté à Montréal, par lequel a été accepté, pour la première fois, par 138 pays ce principe d'étiquetage, et reconnu le droit pour un pays d'empêcher ou de limiter l'importation d'OGM, compte tenu des possibles incidences socio-économiques de leur impact. Cette décision importante ouvre la voie à la commercialisation très contrôlée des aliments à OGM, et donc à une levée du moratoire de fait qui existe sur ces produits. Sans doute cette disposition est-elle de nature à rassurer le consommateur européen, qui aura ainsi la liberté de choisir ou non des produits contenant des OGM. Devant les remous occasionnés par ce débat, et les peurs, souvent exagérées, suscitées par l'amalgame avec les découvertes de pratiques frauduleuses (poulets belges aux dioxines, boues d'épuration réutilisées en alimentation animale...), certains industriels de l'agroalimentaire et chaînes de la grande distribution se sont engagés dans la création de filières « non OGM », manifestement soucieux de ménager des consommateurs exigeants... et prêts à payer plus cher leur tranquillité !

Pour considérer le dossier dans son ensemble, il ne faut pas oublier les avantages que ces biotechnologies peuvent représenter, pour l'optimisation des espèces végétales cultivées sous divers climats et contraintes agronomiques. S'il est possible, via la sélection de plantes génétiquement programmées, d'améliorer les rendements des cultures traditionnelles des pays souffrant de sous-production, et d'apporter dans l'alimentation des populations des nutriments qui font défaut, on imagine les formidables gains sanitaires, à l'échelle planétaire, que l'exportation de ces technologies peut entraîner. Importer des technologies ne veut pas dire, pour autant, organiser la dépendance de pays et une nouvelle forme d'esclavage de paysans incapables de faire face aux grandes multinationales de l'agroalimentaire monnayant leurs précieuses graines à prix d'or. C'est là affaire de règles du commerce et du développement. La santé publique prend de ces détours...

4

LES DÉCHETS ET LES SOLS POLLUÉS

En janvier 1998, la fermeture précipitée de trois incinérateurs d'ordures ménagères de l'agglomération lilloise était brusquement décidée par Pierre Mauroy, président de la communauté urbaine. Motif : les services sanitaires venaient de mesurer des taux de dioxine cinq fois supérieurs aux normes alimentaires dans le lait des vaches de deux fermes voisines. Immédiatement, les fermiers se voyaient signifier l'interdiction de commercialiser leurs produits. Quant aux ordures, elles allaient temporairement être expédiées vers une décharge du Pas-de-Calais, en attendant la construction d'une unité moderne et propre d'incinération.

Pour les habitants de Halluin, Sequedin et Wasquehal, ces fermetures furent un soulagement. Car nul n'ignorait que ces vieux incinérateurs ne respectaient pas les normes de rejets de polluants. Cela faisait même des années que ces usines figuraient sur une liste du ministère de l'Environnement, de sites « hors normes », donc potentiellement dangereux pour la santé des riverains et pour l'environnement en général.

Dans les mois qui suivirent, au cours de cette année 1998, des dizaines d'incinérateurs cacochymes furent ainsi fermés par des élus ou des préfets soudain saisis du souci urgent d'appliquer le « principe de précaution ». Et dans la foulée, le débat sur les dangers de

l'incinération des ordures gagna toute la société. Car il n'y a pas que la dioxine pour inquiéter les populations...

Homo economicus consomme et gaspille. La production des objets qu'il affectionne tant est forte consommatrice d'énergie et de matières premières. Au fil de cette chaîne de production ou de transformation, des rebuts : les déchets industriels ou d'origine agricole. Au bout, les reliefs de la consommation, intermédiaire ou finale : ces emballages encombrants, ces résidus dégradés dont on ne sait plus quoi faire.

Déchet : « Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou, plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon. » Telle est la définition donnée par la loi du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux. C'est un indésirable. Longtemps, on l'a éloigné, à l'abri de la vue, au fond du jardin, de la cour d'usine, à la sortie du village. On le recouvrait de terre, autant pour se protéger des rats et des corbeaux ou des mouettes que pour le faire disparaître à jamais du paysage et de nos souvenirs.

Mais *Homo economicus* en veut toujours plus. Il élimine à tout va. Ses déchets s'amoncellent (voir tableau suivant).

TABLEAU 4-1. – PRODUCTION DE DÉCHETS SELON LEUR ORIGINE
EN FRANCE (millions de tonnes par an)

Déchets municipaux	52
dont : ordures ménagères	25
autres déchets urbains (marchés, assainissement...)	27
Déchets industriels	454
dont : déchets inertes (chantiers)	354
déchets banals	93
déchets spéciaux	7
Déchets agricoles	375
dont : fumiers, lisiers	280
autres	95

Source : IFEN, 1998.

Que faire de ces 1,2 kg d'ordures ménagères et assimilées (déchets de restauration, papiers de bureau...) à éliminer chaque jour en moyenne, pour chaque habitant, et qui, mises en décharge, pourront, avec le temps, contaminer les ressources en eaux profondes ? Comment maîtriser le risque de pollution de nos ressources en eau par les apports excessifs en nitrates liés aux quantités démesurées de fumier et de lisier, résidus de nos productions animales, épandus sur les champs ou dispersés au voisinage de zones d'élevage intensif ? Comment se débarrasser de ces autres détritiques, urbains, industriels ?

D'abord, et avant tout, il faut maîtriser leur production, notamment par des modes de fabrication industriels plus économes de résidus, laissant moins d'emballages. Puis augmenter considérablement leur part récupérable et recyclable. Cela passe non seulement par une attention portée au devenir de ces productions par les responsables industriels (y compris des industries agroalimentaires), « du berceau jusqu'à la tombe¹ ». Cet effort nécessite aussi un engagement direct des consommateurs afin qu'ils facilitent cette valorisation de la matière en triant les déchets qu'ils génèrent. Potentiellement, près des trois quarts d'une poubelle domestique typique, en France, est constituée de matériaux récupérables et valorisables (14 % de produits en verre, 7 % de métaux ferreux et non ferreux, 30 % de papier-carton, 25 % de matières organiques pouvant être compostées). En pratique, même les collectivités les plus dynamiques peinent à atteindre un taux de 30 % de tri-recyclage des ordures ménagères. Certaines se lancent dans une facturation personnalisée des volumes d'ordures déposées par les habitants, à l'image de certains cantons suisses qui ont vu une baisse substantielle des déchets autrefois facilement abandonnés à la responsabilité publique. En France, les rares expériences de ce type ont débouché sur une fronde indignée des administrés, et les maires audacieux ont dû battre en retraite.

L'ambition des pouvoirs publics, exposée en avril 1998 par le ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, est de parvenir progressivement à ce que la moitié des déchets urbains soit collectée afin d'être recyclée et valorisée. Un effort similaire à

1. Formule indiquant l'ensemble du cycle de vie d'un produit : de sa fabrication à sa destruction ou son élimination en tant que déchet.

celui demandé aux citoyens et aux élus est appelé de la part des acteurs industriels et les filières commerciales, notamment pour les emballages. La part non valorisable des déchets, de masse sensiblement réduite et débarrassée de produits potentiellement dangereux (plastiques, métaux...), peut alors subir des traitements définitifs qui achèvent leur élimination. L'incinération est prise par son caractère radical ; elle présente de surcroît un avantage : on peut récupérer la chaleur produite dans des usines disposant d'installations performantes d'épuration des fumées. Mais ces installations coûtent cher. Les normes d'émission qui leur sont imposées sont en effet très contraignantes. Raison de plus pour réduire les volumes à traiter !

Ces traitements des déchets produisent eux-mêmes des déchets : mâchefers, résidus d'épuration des fumées, boues de traitement physico-chimique... qui n'ont d'autre destination possible que les décharges. Celles-ci sont donc bien nécessaires, en bout de course, en l'état actuel des techniques, même si la loi ne les autorise plus à accueillir que des déchets ultimes. Autrement dit, selon la loi de 1975, un déchet résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux.

Le stockage des déchets

Les décharges représentaient le cimetière d'environ 44 % du volume des ordures ménagères produites en France en 1996. Elles accueillent en outre près du tiers des résidus du traitement des déchets industriels spéciaux². Naturellement, selon qu'elles sont conçues pour recevoir des déchets plus ou moins dangereux, les décharges sont soumises à des normes plus ou moins sévères. Avec 2 579 « centres d'enfouissement technique » (nom technique d'un centre de stockage, alias décharge) soumis à la taxe de mise en décharge en 1996, 19 centres de stockage de déchets industriels spéciaux, et... sans doute

plus de 7 000 décharges communales condamnées à disparaître à court ou moyen terme. Sans compter les décharges sauvages illégales. Le territoire est donc un gruyère. Mais il est injuste de reléguer tous ces trous sous la même enseigne. La dispersion incontrôlée de déchets viole les paysages. C'est un véritable scandale écologique, sanitaire et civique. Elle génère des abcès permanents de pollution des ressources en eau. Leur résorption constitue donc une absolue priorité.

Des cimetières à rebuts...

De leur côté, par la loi du 13 juillet 1992, les décharges municipales d'ordures brutes sont appelées à disparaître progressivement. Anachroniques, elles témoignent d'une longue histoire de la politique du moindre effort en matière de tri et de lutte contre les gaspillages. Les dangers qu'elles occasionnent dépendent de la qualité du sous-sol et du soin apporté à leur gestion. Des déchets bruts ou des résidus de traitement non « inertés », c'est-à-dire pouvant évoluer chimiquement, peuvent en effet être sources de danger pour le milieu et l'homme. Confinés dans des conditions déficientes, les contaminants chimiques ou microbiologiques peuvent se répandre dans l'environnement et atteindre indirectement des cibles humaines. Cette pollution, dans une décharge sauvage ou une décharge de déchets bruts mal contrôlée, se produit par dégazage des composés volatils initialement piégés dans le corps des déchets. C'est notamment le cas des solvants et résidus de peintures. Car enfin, une décharge brute n'est rien d'autre qu'une sorte d'usine chimique où se produisent, pendant très longtemps, des transformations : « Rien ne se perd, rien ne se crée... » Les gaz nocifs s'échappent ainsi dans l'air extérieur et, emportés par les vents, peuvent viciar l'atmosphère au voisinage. La « crise » de la décharge de Montchanin, une petite commune de Saône-et-Loire devenue célèbre malgré elle, a débuté au début des années 1980 par les odeurs nauséabondes résultant du dégazage de la masse des déchets industriels et ménagers sommairement enfouis. Ces odeurs ont déclenché des plaintes et des craintes pour la santé des riverains. L'indifférence des pouvoirs publics, pendant des années, abusés par un industriel peu scrupuleux, a généré sentiments et frustrations au sein de la population, d'autant plus justifiés que ces gaz, riches en composés organiques volatils, avaient un réel pouvoir irritant sur les voies respiratoires : les

2. Les déchets industriels spéciaux (DIS) sont des déchets spécifiques de l'activité industrielle qui contiennent en quantité variable des éléments toxiques ou dangereux (explosion...).

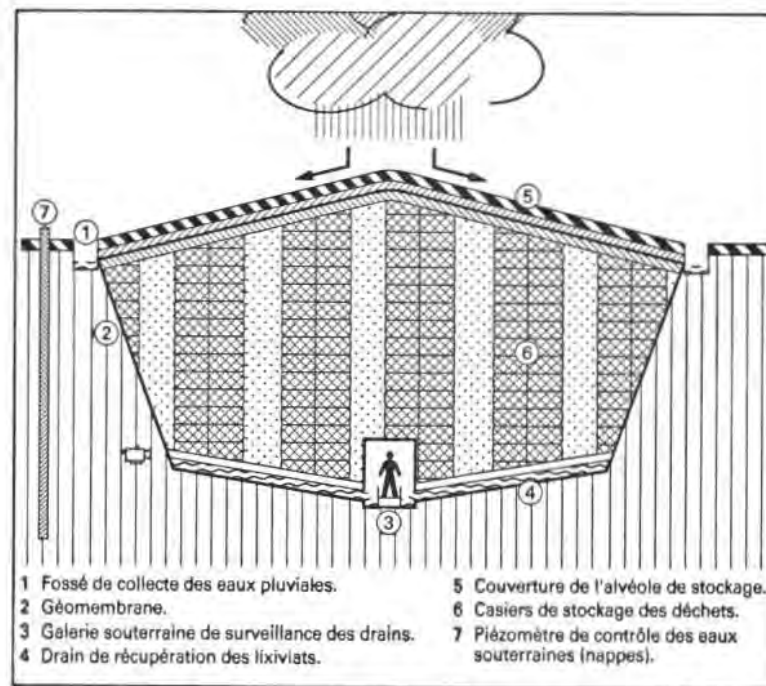
personnes les plus sensibles (enfants, malades respiratoires) en ont souffert physiquement ; on ne peut exclure que certaines personnes particulièrement fragiles en soient mortes. Beaucoup d'habitants de la commune ont également souffert psychologiquement.

À côté de cette voie aérienne, la pollution associée à ces décharges d'un autre âge est principalement causée par la percolation des lixiviats (nom technique des « jus de décharge ») lorsque le sous-sol n'est pas assez étanche. Entraînés par les eaux de pluie qui pénètrent à travers une couche superficielle non ou insuffisamment protégée, des agents microbiologiques ou des produits chimiques dissous ou en suspension peuvent atteindre les ressources en eau souterraines. La diffusion de l'abcès dépend de la configuration de la nappe et de l'usage qui est fait de l'eau souterraine. Ainsi, des milliers d'habitants de la commune de Woburn, proche de Boston, aux États-Unis, ont consommé pendant des décennies une eau de boisson gravement contaminée par des métaux et des polluants organiques (chloroforme, tri et tétrachloroéthylène...) issus de décharges industrielles locales. Plusieurs études épidémiologiques ont été conduites pour apprécier la responsabilité de cette contamination dans la survenue de leucémies de l'enfant et de divers troubles de la reproduction (interruptions de grossesse, malformations congénitales). Cet exemple, ici à large échelle, est loin d'être isolé. Il ne doit pas, pour autant, condamner, par un amalgame douteux, tous les centres de stockage des déchets.

...au confinement new look

Des règles de bonne gestion ont été édictées et renforcées progressivement depuis ces sinistres affaires. Elles ont pour but d'éviter les pollutions et leurs conséquences sanitaires. Certaines règles concernent la nature des déchets autorisés à être enfouis : ils doivent dorénavant contenir une très faible fraction de polluants pouvant s'échapper. D'autres concernent les conditions du confinement des déchets : elles prévoient l'empilement des déchets par petites unités étanches, la protection du site contre les eaux pluviales, la qualité du sous-sol, la récupération et le traitement des eaux de lessivage et de ruissellement ou des gaz qui peuvent être émis. D'autres règles, enfin visent à vérifier que le stockage n'a pas d'impact sur la qualité du milieu, en im-

FIGURE 4-1. - COUPE D'UNE ALVÉOLE DE STOCKAGE APRÈS EXPLOITATION



Source : *La Gestion des déchets ultimes en Rhône-Alpes*, Semeddira, Lyon, 1993.

sant des analyses régulières dans la nappe phréatique et l'air ambiant, en amont et en aval du site, ainsi que dans les « jus de décharge ». Ces données doivent être accessibles aux élus locaux et aux représentants des riverains, au travers des Commissions locales d'information.

Si ces précautions sont prises, le stockage peut se faire dans des conditions correctes pour le milieu, les travailleurs du site, et les riverains. L'ouverture d'un centre de stockage fait l'objet d'une autorisation préfectorale (instruite par la DRIRE, Direction de l'industrie, de la recherche et de l'environnement, avec avis du Conseil départemental d'hygiène). La figure 4-1. montre comment fonctionne un centre de stockage de déchets moderne.

Selon la nature des déchets et du terrain, trois classes de centres sont déterminées. Des matériaux inertes (déblais et gravats...) peuvent être enfouis dans des sites dits de classe III, au sous-sol ordinaire. Les

ordures ménagères et les déchets assimilés (c'est-à-dire les emballages, et les déchets organiques de restauration collective) sont encore admis (en principe jusqu'en 2002, mais sans doute au-delà en milieu rural et dans les petites villes) dans des sites de II^e catégorie. Pour accueillir ce type de déchets, le sous-sol doit avoir une très faible perméabilité naturelle ou artificielle. Celle-ci est en général renforcée par des « draperies » de géotextiles posées en fond de décharge : la percolation de l'eau doit être très lente. Les sites de classe I sont destinés aux déchets « ultimes » (c'est-à-dire les résidus du traitement de déchets, notamment les cendres volantes récupérées dans les cheminées des incinérateurs et les produits du traitement physico-chimique des déchets industriels spéciaux). Chaque déchet admis possède une sorte de carte d'identité : des formulaires administratifs sont remplis sur leur site de production ou bien par les entreprises de ramassage qui les collectent en ville, ainsi qu'à leur arrivée en décharge. La « traçabilité » des déchets est ainsi assurée (on peut retrouver son propriétaire). Des échantillons sont prélevés à l'entrée du site et subissent des examens en laboratoire pour prouver qu'ils sont conformes à la déclaration. Les déchets sont alors stabilisés et solidifiés par un procédé chimique qui leur donne l'apparence d'un mortier, pour être enfin enfouis. L'exploitant de la décharge doit conserver tous ces documents au cas où les inspecteurs de la Drire viendraient contrôler. En pratique, ces inspecteurs sont peu nombreux, donc surchargés. La sûreté du dispositif repose finalement beaucoup sur la qualité de l'autosurveillance du gestionnaire du site.

Ainsi, des sentiments ambigus parcourent la société en matière de stockage des déchets. Paradoxalement, une certaine tolérance profite aux décharges brutes, tant de la part des élus locaux que des habitants (peut-être parce que, souvent, chacun se dit que « ce sont nos déchets, pas ceux des autres »). Leur caractère traditionnel, voire familier, et leur prix de revient défiant toute concurrence leur donne beaucoup d'attraits. Ces attraits sont de surcroît valorisés par l'ombre jetée sur l'incinération, la grande (mais pas la seule) alternative au stockage des déchets. Chère, souvent jugée surdimensionnée (pour amortir les investissements lourds qu'elle exige), soupçonnée, à cause d'un passé peu glorieux, de « polluer l'air », cette technologie est décriée, tout particulièrement par les élus des petites collectivités, moins contraints que les maires des grandes villes par la pression

foncière. Et pourtant, marqués par les souvenirs encore frais de certaines décharges traditionnelles (surtout industrielles) ayant occasionné des nuisances réelles et des troubles pour la santé, les riverains sont prompts à se mobiliser : tout projet nouveau de centre de stockage est repoussé sous des prétextes divers : la qualité du sous-sol, l'augmentation du trafic, la mauvaise image portée sur « nos productions du terroir ». Tout devient matière à élever obstacle après obstacle sur le parcours du combattant des projets d'implantation de centres modernes de stockage des déchets.

L'incinération des déchets

L'incinération consiste en une décomposition thermique des déchets à haute température (500 à 1 200 °C). Elle permet une réduction de 70 à 80 % du volume des déchets. En contrepartie, les polluants non détruits sont très concentrés. L'incinération permet aussi – si les usines sont modernes de récupérer la chaleur produite pour une valorisation énergétique, en chauffage urbain par exemple. Les résidus de ce processus sont constitués principalement de mâchefers, de ferrailles et de cendres volantes (appelées aussi résidus d'épuration des fumées d'incinération d'ordures ménagères ou « refioms »). En moyenne, pour 1 000 kg de déchets ménagers non triés, on retrouve 280 kg de mâchefers et ferrailles, 20 kg de refioms ; les 700 kg restants sont partis en fumée, sous forme d'eau et de gaz carbonique principalement. C'est le devenir de ces « déchets des déchets » – mâchefers et refioms –, et surtout de la partie invisible de ce bilan que sont les polluants s'échappant, même en petite quantité, avec les fumées par la cheminée de l'incinérateur, qui constituent le principal objet de débat sur l'incinération des déchets. Du moins d'un point de vue sanitaire.

Suivez mon panache blanc

L'incinération occupe une place importante comme mode d'élimination des déchets en France : 41 % des déchets ménagers en 1997 et 55 % des déchets industriels spéciaux en 1994. Certains pays pratiquent l'incinération avec encore plus d'entrain : 73 % au

Japon, 60 % au Danemark. D'autres sont plutôt partisans du « tout au trou », c'est-à-dire en décharge : au Canada, 4 % seulement des ordures sont incinérées, 5 % au Royaume-Uni, et 15 % aux États-Unis. Au-delà du volume traité, il faut considérer le nombre et la taille des installations. La France, avec ses 313 usines d'incinération des ordures ménagères (UIM) en 1995, possédait à elle seule de l'ordre de la moitié du parc européen. Installations souvent de petite taille et anciennes, donc polluantes. Une projection à moyen terme, dans le cadre de l'élaboration des plans départementaux d'élimination des déchets, prévoit que la part des ordures ménagères éliminées par incinérateur atteindrait 50 % d'ici 4 à 5 ans. Il y aurait autant d'usines, mais elles seraient plus grandes et modernes.

Pour l'heure, les installations sont principalement régies par des textes français datant de 1991 et 1996, et par diverses directives européennes. Un échéancier a été établi pour permettre aux usines de s'adapter progressivement aux limites d'émission en cheminée de certains polluants ; ce calendrier est adapté au type et à la taille des installations. Les unités de capacité supérieure à 6 tonnes/heure se voient appliquer ces normes depuis fin 1996, alors que les plus petites ont jusqu'à l'an 2000 pour se mettre en conformité. Pourquoi ce décalage ? Ces normes sont établies en concentration de polluants dans les fumées. Or, des unités de petite taille émettent une moindre quantité de fumées. Elles sont donc responsables d'une pollution totale inférieure à celle des installations plus grandes, même si les concentrations à l'émission sont plus élevées. Le tableau suivant présente les limites de concentrations autorisées à l'émission, selon la capacité des incinérateurs d'OM (arrêté du 25/1/91)³.

Si près de 99 % des émissions atmosphériques des incinérateurs sont constituées de vapeur d'eau, de CO₂, d'azote et d'autres gaz inertes, le reste des émissions est composé de polluants dont certains sont nocifs. La liste est longue. Sont plus particulièrement surveillés des gaz acides (acide chlorhydrique, oxydes de soufre...), des métaux (nickel, cadmium, plomb, mercure...), des hydrocarbures aromatiques polycycliques chlorés (HAPC, parmi lesquels les fameuses

TABLEAU 4-2. — NORMES D'ÉMISSION
DES INCINÉRATEURS D'ORDURES MÉNAGÈRES

Capacité de l'incinérateur	inf. à 1 t/h	de 1 t/h à 3 t/h	3 t/h et plus
Vitesse verticale des gaz en sortie de cheminée	> 8 m/s	> 8 m/s	> 12 m/s
Poussières totales	200	100	30
HCl	250	100	50
Composés organiques (carbone total)	20	20	20
Métaux lourds :			
Pb + Cr + Cu + Mn	—	5	5
Ni + As	—	1	1
Cd + Hg	—	—	—
(particulaires et gazeux)	—	0,2	0,2
HF	—	4	4
SO ₂	—	300	300
dioxines : norme prochaine de l'Union européenne : 0,1 ng/m ³ (I. TEQ)			

Sources : SFSP⁴ 1999 (valeurs exprimées en mg/Nm³ à 9 % de CO₂ surfumées sèches).

dioxines) ou non chlorés. Les concentrations de ces polluants à l'émission sont très variables ; elles dépendent de la composition des déchets incinérés, des conditions de la combustion, et de l'efficacité des systèmes d'épuration des gaz et des fumées.

L'exposition des personnes aux émissions atmosphériques des incinérateurs peut se faire par voie directe ou indirecte. L'inhalation des polluants contenus dans les fumées émises par le panache de l'usine représente la voie directe d'exposition. Fortement dilué dans l'air, ce panache parvient, jusqu'aux riverains des installations, mais parfois aussi à très longue distance, lorsque la fine taille des particules émises et le régime des vents favorisent une dispersion éloignée. Les concentrations dans l'air, dans un voisinage de 1 à 2 km de l'usine, sous le vent, sont 10 000 fois moins importantes que les valeurs mesurées au sommet de la cheminée. Aussi, lorsque des dispositifs d'épuration

4. SFSP (Société française de santé publique), RSD (Réseau santé-déchets), APPA (Association pour la prévention et la pollution atmosphérique) et AGHTM (Association générale des hygiénistes et techniciens municipaux) : *Incineration des déchets et santé publique. Un bilan de connaissances*, coll. « Santé et Société », Nancy, 1999.

3. Journal officiel du 8 mars 1991 : arrêté du 25 janvier 1991 relatif aux installations d'incinération.

modernes sont installés, les quantités de polluants attribuables à l'incinérateur deviennent négligeables en regard des autres sources de pollution coexistant en site urbain. En revanche, lorsque les fumées sont fortement chargées, cette dilution peut être insuffisante, d'autant que certains de ces polluants, tels le plomb ou les dioxines, s'accumulent sans jamais disparaître.

Une autre voie d'exposition, indirecte celle-là, peut résulter de la déposition des polluants émis dans l'air, sous l'effet de leur poids et de la pluie. Certains polluants peuvent alors pénétrer dans la chaîne alimentaire, par dépôt sur les feuilles ou absorption par les racines. À côté de l'ingestion des productions végétales cultivées en zone de retombée de ces polluants, on pourra aussi craindre une exposition indirecte par l'intermédiaire du bétail alimenté par des fourrages ainsi contaminés. Voilà pourquoi furent fermés, en 1988, les trois incinérateurs du nord de la France. Cependant, comme dans le cas de l'inhalation, cette chaîne de contamination de l'alimentation est négligeable dans le cas d'incinérateurs modernes.

Rien ne se perd, rien ne se crée...

Les composés organochlorés sont souvent cités comme étant les plus toxiques parmi les contaminants émis par les incinérateurs. Parmi ces composés, les dioxines et les furanes sont réputés pour leur toxicité particulièrement élevée, notamment du fait de leurs potentiels cancérigène et tératogène⁵ (voir annexes, p. 246). Leur capacité à s'accumuler dans les tissus graisseux et leur persistance dans l'environnement rendent ces polluants particulièrement problématiques. Car naturellement, du fait de ces caractéristiques, on en retrouve dans les laitages, viandes et poissons, consommés après par l'homme. Les inventaires (à ce jour très incomplets) des émissions de dioxines et furanes pointent l'incinération et la sidérurgie comme les sources d'origine humaine prédominantes. Les sources naturelles de production de ces HAPC sont les feux de bois de chauffage et de

5. Tératogène : susceptible d'induire des malformations congénitales à la suite d'une exposition en cours de grossesse, ou par accumulation chez la future mère avant une grossesse.

forêts, et les feux de cuisson des aliments. Ces émissions diffuses sont cependant très mal quantifiées à l'heure actuelle, ce qui ne permet pas d'estimer de manière correcte la contribution relative de l'incinération d'ordures aux émissions totales. Par précaution, les limites d'émission sévères ont été fixées pour l'incinération des déchets spéciaux et des ordures ménagères. Les nouvelles usines doivent s'y conformer depuis 1996 ; les installations plus anciennes, parfois très polluantes, devront progressivement se mettre en conformité, au plus tard fin 2000. À défaut, elles encourent le risque de se voir imposer par le préfet une fermeture autoritaire, comme l'ont expérimenté en 1998 les trois incinérateurs de la communauté urbaine de Lille-Roubaix-Tourcoing. Le bilan des mesures d'émissions, actualisé régulièrement par le ministère chargé de l'Environnement⁶, montre que, malgré les réels progrès faits depuis quelques années, nombre d'incinérateurs, souvent de petite taille, ont encore de sérieux efforts à faire pour laver leurs fumées.

Parmi les métaux, le plomb, le nickel, l'arsenic, le chrome, le mercure et le cadmium, sont surveillés à cause de leurs effets cutanés, néphrotoxiques, neurotoxiques et/ou cancérigènes (voir annexes, p. 288). L'incinération est aussi source de gaz acides et de particules fines reconnus pour leurs effets irritants au niveau des voies respiratoires. L'acide chlorhydrique provient de la combustion du chlore contenu dans les déchets, notamment les bouteilles en plastique PVC. L'acide chlorhydrique est émis à raison de 80 à 100 tonnes par an et par incinérateur en France, alors que le dioxyde de soufre, autre gaz irritant, connaît des valeurs de l'ordre de 40 à 70 tonnes par an. Pour les particules, les valeurs ont plus variables, de 15 à 70 tonnes/an⁷.

L'impact sanitaire, s'il en est un, est difficilement appréciable par des études épidémiologiques classiques. En effet, les risques sont rarement élevés et il faudrait suivre des populations très nombreuses pour pouvoir les mettre en évidence. Dans de telles situations, la démarche d'évaluation du risque devient pertinente. En 1999, plusieurs sociétés savantes ont uni leurs compétences pour procéder à une évaluation du risque au voisinage de quelques dizaines d'incinérateurs pour lesquels étaient disponibles des données d'émission de quelques polluants

6. Site Internet www.environnement.gouv.fr

7. Source : Ademe 1997. Voir aussi le rapport de la SFSP cité *infra*.

choisis comme « traceurs du risque ». Le tableau 4-3, ci-après résume les principaux résultats de ce travail. Il expose d'une part une estimation du *risque* : la probabilité qu'un événement indésirable se produise. Et d'autre part, l'*impact* : une mesure du nombre de personnes qui, d'après la modélisation effectuée, seront affectées de ces troubles, compte tenu de la taille de la population exposée au voisinage des sites étudiés, soit de 1 à 2 millions d'habitants. On observe que, sans être nulles, ces mesures, assez typiques de la situation moyenne française, sont en général modestes et relativement proches des valeurs-seuil recommandées par les instances sanitaires. Une analyse plus détaillée a également été faite pour un site fortement polluant : dans ce cas, la réduction de l'espérance de vie occasionnée par les poussières émises par la cheminée s'élève à 1,8 an, sur une période de 15 ans. Quant au risque de cancer associé aux dioxines ingérées par des particuliers cultivant leur jardinier dans la zone de retombée du panache, il pourrait aller jusqu'à 7 %, valeur astronomique ! De telles installations doivent impérativement être fermées d'urgence, ce que la réglementation prévoit, d'ailleurs, d'ici le 31 décembre 2000. Appliqués aux valeurs limites d'émission prescrites par les nouvelles réglementations de l'Union européenne, ces calculs montrent que les risques induits par les nouvelles installations d'incinération deviennent extrêmement faibles.

Comme pour le stockage des déchets, la société éprouve des sentiments ambigus à l'égard de l'incinération. Bien sûr, le citoyen préférera toujours voir l'usine s'installer chez son voisin. Un lointain voisin, de préférence. Il n'apprécie pas, pour autant, la divagation de bennes à ordures ou de camions chargés de déchets industriels sur les routes : loin, mais pas trop, tout de même. Il est intéressé par les performances énergétiques de ces usines à valoriser nos déchets : « Tiens, ça chauffe les hôpitaux et des immeubles ? Bigrement intéressant ça ! » Habitué à ses anciennes mais familières chaudières qui strient le ciel de nuages grisâtres et pollués, il s'échauffe au moindre projet de construction d'une nouvelle usine d'incinération.

Mais au fond, si c'était simplement une façon pour ce citoyen de ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier ? Car sans doute pratique-t-il la nouvelle trilogie en vogue : beaucoup d'économie de déchets ; pas mal de tri sélectif ; autant – mais pas plus – d'incinération (où donc, au fait ?). Le reste ? Cachez-moi donc ce trou que je ne saurais voir...

TABLEAU 4-3. – ÉVALUATION DU RISQUE POUR LA POPULATION AU VOISINAGE D'USINES D'INCINÉRATION D'ORDURES MÉNAGÈRES (UIOM)

Polluant	Risque moyen de cancer ou réduction de l'espérance de vie		Comparaison des expositions aux doses sans effet nocif (en %)	
	Voie respiratoire	Voie orale	Voie respiratoire	Voie orale
Cadmium (30 UIOM)	- R* = $1,5 \cdot 10^{-3}$ - I* = 0,03 (annuel)		2 à 51	
Plomb (29 UIOM) Population totale Enfants de 2 ans			0.2 à 13.2 ⁽¹⁾ 0.01 à 0.41 ⁽²⁾	
Poussières (105 UIOM)	DEV** = 20 jours			
Dioxines (70 UIOM)	- R = $8 \cdot 10^{-4}$ - I = 22,5 (annuel)		0.01 à 10.8	27.2

* R = risque moyen (probabilité) ; I = impact dans la population (nombre de cas en excès ; cet impact s'applique à une population de l'ordre de 1 million d'habitants pour le Cd et le Pb, et de 2 millions pour les dioxines).

** Réduction de l'espérance de vie (DEV) au bout de 15 ans d'exposition continue.

(1) : Comparaison à la Valeur guide de qualité de l'air recommandée par l'OMS, pour chaque UIOM.

(2) : Comparaison à la Dose Hebdomadaire Tolérable recommandée par l'OMS pour chaque UIOM.

Source : Incinération des déchets et santé publique. Un bilan des connaissances, SFSP, 1999.

Sols pollués et friches industrielles

Un inventaire des sols contaminés

À la fin des années soixante-dix, l'affaire de Love Canal, dans le nord-est des États-Unis, a créé un véritable traumatisme dans l'opinion et révélé l'ampleur des erreurs pouvant être commises dans la gestion des sols.

Une zone résidentielle avait été édifée sur une ancienne décharge de déchets industriels toxiques. Certes, les lieux avaient été réaménagés. Mais si sommairement que les habitants tombèrent

malades les uns après les autres, de pathologies plus étranges les unes que les autres. Ils ignoraient pourquoi. D'enquête en procès, de découvertes étonnantes en scandales à répétition, la zone fut déclarée sinistrée. Aux États-Unis, cette affaire contribua à définir le besoin d'une agence fédérale de l'environnement qui devint la très puissante Environmental Protection Agency.

Pendant longtemps, l'homme s'est comporté comme si le sol était capable de supporter une pollution infinie. C'est ainsi que jusqu'aux années quatre-vingt, aucune précaution n'était prise sur les sites industriels. On avait l'habitude d'enfouir sur place les déchets ou les effluents générés par les activités de production. La capacité d'épuration du sol était considérée comme illimitée.

Nous devons aujourd'hui gérer cet héritage. On sait désormais que ces polluants peuvent atteindre l'homme, par contact direct avec le sol ou par inhalation ou encore au travers de la chaîne alimentaire. La pollution de la nappe phréatique est, dans certains cas, particulièrement préoccupante. Les polluants migrent en profondeur et menacent les ressources en eau destinée à l'irrigation ou l'alimentation en eau potable.

Cette question des sols pollués présente un double enjeu : sanitaire, compte tenu de l'importance des populations concernées, et économique car le repérage, l'évaluation et surtout la dépollution de ces sites représentent des coûts considérables.

Les sites industriels majeurs ayant pu polluer les sols sont faciles à repérer : raffineries, sites de l'industrie métallurgique, usines chimiques et pharmaceutiques, usines de production de gaz, etc. Les principaux polluants sont ici les hydrocarbures, les métaux et les solvants. Ils persistent dans les sols des décennies après la cessation des activités polluantes. Ces sites sont répertoriés et appartiennent le plus souvent à des groupes industriels qui ont les moyens de diagnostiquer cette pollution puis de la traiter.

Mais repérer les installations polluantes plus petites devient difficile : elles sont trop nombreuses, trop variées. Du petit artisan qui travaillait les métaux ferreux, à la station-service qui fuit, ce sont des dizaines de milliers, voire des centaines de milliers de sites sur lesquels des activités polluantes sont ou ont été exercées. Avec le temps, ces sites ont pu être reconvertis. On y retrouvera, selon les cas, des logements, un terrain de sport, une autre entreprise... Les exemples

les plus connus sont le Stade de France et la Maison de la Radio à Paris, tous deux construits sur d'anciennes usines de gaz. Mais le premier, plus récent, a bénéficié d'une bonne réhabilitation.

Parfois, ces sites sont en friche et leurs propriétaires ont disparu. On parle alors de « sites orphelins », dont le suivi et la réhabilitation éventuelle sont désormais confiés à l'ADEME. Les entreprises productrices de déchets industriels dangereux sont astreintes à une taxe (la TGAP, taxe générale sur les activités polluantes), collectée par l'État, dont une partie est reversée à l'Agence de l'environnement pour financer la réhabilitation des sites orphelins.

Le tableau 4-4., p. 153 présente une estimation du nombre de sites contaminés dans quelques pays européens et américains. Le nombre de sites contaminés recensés varie d'un pays à l'autre en fonction de différents critères nationaux : la définition légale de sites contaminés, le type et l'ampleur de l'industrialisation passée, la densité démographique alentour, et les efforts fournis pour effectuer la recherche active de ces sites pollués. L'Allemagne, la Grande-Bretagne et la Hollande, notamment, annoncent des chiffres impressionnants.

Sous l'impulsion du ministère chargé de l'Environnement, le recensement des sites pollués a été entrepris en France depuis 1993. Dans l'inventaire publié en 1997, seuls figuraient les terrains ayant fait l'objet d'une exploration approfondie, soit moins de un millier. Dans près de la moitié des cas, il s'agissait de décharges. L'inventaire se poursuit et enflé chaque jour. Un rapport récent de l'Académie des sciences recense plus de 200 000 sites, petits ou grands, contaminés par les hydrocarbures, dont près de 24 000 anciennes stations-service⁸.

Le repérage des sites est compliqué. C'est en évaluant les risques pour l'environnement ou la santé sur chacun des terrains soupçonnés d'être pollués qu'on décide s'il y a un problème et s'il faut réhabiliter. Le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) et l'ADEME ont proposé une méthode en plusieurs étapes pour caractériser le niveau de pollution d'un site à partir des risques existant pour les milieux et la santé des populations avoisinantes. Au départ, on évalue les risques à partir de l'analyse d'une cinquantaine de paramètres : les sources de pollution, la nature des polluants, la proximité de la

8. *Pollution localisée des sols et des sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés*, Académie des sciences, Paris, mars 2000.

nappe phréatique, la présence de population sur le site ou à proximité, l'impact constaté sur l'air, l'eau, etc. Ce diagnostic initial repose sur une analyse historique des activités qui se sont succédé sur le site, les caractéristiques susceptibles de favoriser ou de ralentir les transferts de polluants, et sur un examen de l'état actuel du site. Il permet un classement en trois classes :

- Classe I : site prioritaire devant faire l'objet d'un diagnostic approfondi.
- Classe II : site à surveiller.
- Classe III : site banal, classé sans suite.

Des risques pour la santé difficiles à apprécier

Le sol est un milieu très complexe. La matière y est présente sous forme solide, liquide ou gazeuse, plus ou moins solidaire de la matrice minérale et organique, avec de nombreuses possibilités de transfert selon la nature des polluants et des caractéristiques physico-chimiques du sol.

Les polluants déversés dans les sols par l'industrie se comptent par milliers. Ils ont rarement été émis sous forme pure mais se présentent plutôt comme des cocktails plus ou moins complexes et qui ont pu être modifiés avec le temps. Les premiers recensements du ministère de l'Environnement ont révélé que les hydrocarbures étaient présents dans la moitié des cas, le plomb dans un cas sur cinq, les solvants halogénés, le chrome et le zinc une fois sur six et l'arsenic une fois sur dix.

On comprend dès lors la difficulté de connaître l'ensemble des polluants d'un sol. Habituellement, on se contente, faute de mieux, de rechercher des substances censées refléter la présence de familles de polluants. C'est un peu comme pour l'eau potable, où la recherche de bactéries d'origine fécale est utilisée comme « marqueur » de la situation microbiologique globale. Le cas des sols pollués est réellement particulier : la pollution est complexe, l'homme est le plus souvent soumis à de faibles niveaux d'exposition, quoique durant une période pouvant être longue. On comprend que la démarche épidémiologique n'est ici guère applicable. Ce constat ne peut évidemment satisfaire les quelques familles qui découvriraient, au bout de dix ans, qu'elles vivent sur l'emplacement d'une ancienne décharge toxique. À supposer qu'une autorisation ait été donnée de construire sur un

tel site, il y a tout lieu de penser qu'une réhabilitation du sol aura été effectuée au préalable. Mais des situations anormales existent malheureusement encore. Le fait de savoir qu'elles sont trop peu nombreuses pour mériter d'entrer dans des statistiques est une maigre consolation. Dans ce cas, et pour se rassurer, sans doute vaut-il mieux qu'elles aillent demander conseil à leur médecin généraliste plutôt que de se plonger dans les calculs de probabilité sur les risques des faibles doses élaborés par les épidémiologistes. Malheureusement, les « hommes (ou femmes) de l'art » ne sont pas toujours en mesure de repérer d'éventuels troubles, qui se dissimulent parfois sous des formes floues et peu parlantes.

Sans négliger la nécessité de répondre à ces légitimes questions, et donc d'estimer les conséquences des situations du passé (sauf pour en tirer des leçons pour le futur) la priorité est de prévenir les risques de demain. Il faut donc tenir compte du nouvel usage auquel on destine le site pollué. Dans cette analyse des risques, l'étape clé consiste à estimer les niveaux d'exposition en fonction des modes d'occupation prévus. L'exposition humaine aux polluants des sols prend plusieurs visages. Car le sol est le support de presque toutes les activités de l'homme, y compris la production de denrées alimentaires. Cette exposition peut être directe ou indirecte. Directe par contact avec le sol lui-même : par voie respiratoire (poussières et gaz émis sur un site), à travers la peau ou par voie orale (ingestion de sol et de poussières du sol véhiculées par le vent). Ainsi, un petit enfant qui suce tout ce qu'il touche, ou un enfant qui joue au foot sur un terrain chargé de polluants peuvent ingérer, sans le vouloir, jusqu'à 50 à 100 mg de poussières du sol par jour. Une voie d'exposition substantielle ! L'exposition indirecte se fait par contact avec un élément qui a été pollué par l'intermédiaire du sol. Par exemple, on ingère de l'eau polluée ou des aliments (légumes, volailles, bétail, poissons, etc.) provenant d'une zone de production dont le sol est pollué ou utilisant pour l'irrigation une eau polluée. C'est le cas lorsque la source ou le jardin jouxte une usine proche dont la cheminée envoie dans l'air des métaux comme le plomb ou le cadmium. Certains jardins ouvriers des cités du nord de la France connaissent des taux de contamination de ce type très élevés, et leurs cultures en sont sérieusement imprégnées. Citons aussi les jolis jardinets entourant certaines villes, situés à proximité des périphériques ou d'autoroutes urbaines...

Des logiciels informatiques sont conçus pour estimer les niveaux d'exposition aux polluants des sols. Ils tiennent compte de leur concentration, de la profondeur de la pollution, des principales caractéristiques physico-chimiques du sol et des usages actuels ou envisagés (industriel, agricole, récréatif, résidentiel, etc.).

Certains vont même jusqu'à calculer les risques sanitaires (lorsqu'ils sont connus) par composé chimique (à condition que ce dernier soit identifié). Ces modèles sont des outils intéressants d'aide à la décision, notamment si on souhaite prendre en compte la santé de l'homme dans les décisions de gestion des sols pollués. Leurs résultats doivent néanmoins être utilisés avec prudence. En effet, plusieurs modèles appliqués à un même site peuvent fournir des niveaux de risques estimés très différents. Il ne faut pas se laisser abuser par une précision des résultats qui peut masquer d'importantes incertitudes.

Des règles de gestion en cours d'élaboration

La gestion des sites pollués est l'un des domaines où, dans notre pays, l'articulation entre l'environnement et la santé est la mieux formalisée. Pour la première fois, face à l'impossibilité de réduire à zéro les niveaux de pollution, des valeurs à ne pas dépasser ont été proposées sur la base de considérations sanitaires, sans que l'on ait recours à des normes dont on attendrait une illusoire valeur universelle. En particulier, pour des polluants ayant une toxicité réputée sans seuil limite, notamment les substances cancérogènes, les pouvoirs publics ont proposé un « seuil d'excès de risque » à ne pas dépasser de un pour cent mille (un excès de risque de un pour dix mille pouvant aussi être parfois toléré⁹). En clair, l'hypothèse est la suivante : pour une population de 100 000 personnes vivant pendant 70 ans sur un site donné, le nombre de cas de cancer susceptible d'être attribué à la pollution du sol ne devrait pas excéder 1. Or, il est peu vraisemblable qu'un site, même réhabilité, puisse concerner une population aussi

nombreuse. On voit bien d'ailleurs sur ce cas la limite de l'outil épidémiologique lorsqu'il s'agit de maîtriser des risques sanitaires chroniques liés à des expositions répétées à de faibles doses : démontrer des risques aussi faibles est mission impossible.

Risques faibles ne veut pas nécessairement dire impacts négligeables. Car une pression de plus en plus grande se manifeste pour valoriser des friches industrielles qui ont pris une valeur foncière au fur et à mesure que les villes se sont étendues.

Dans ce contexte, la communication sur les risques sanitaires liés aux sols pose de nombreuses questions non résolues. Le fait de savoir que son domicile est situé sur un site pollué peut avoir des conséquences psychologiques non négligeables. Sans compter l'impact sur la valeur patrimoniale du terrain. D'autant que l'on n'est pas en mesure de garantir un risque nul, même s'il est en réalité très faible. Il faut faire preuve dans ce secteur d'une grande capacité d'écoute des préoccupations sociales sous peine de subir des crises de défiance dont les coûts de gestion peuvent être considérables comme l'a montrée l'affaire américaine de Love Canal.

Des pratiques agricoles périlleuses

Somme toute, la surface du territoire français transformée par l'industrie ou l'urbanisation est faible. Plus de la moitié des terres sont à vocation agricole, plus du quart sont boisées, et un peu moins de 10 % sont sans usage ou protégées pour conserver des espaces naturels. Pourtant, la progression des espaces « artificialisés » se fait au rythme de près de 40 000 ha par an, du fait de la croissance de l'urbanisation, la construction des routes et autres aéroports...

Les terres agricoles connaissent aussi des formes de pollution chimique qui peuvent être à l'origine de risques pour la santé de l'homme. La recherche de gains de productivité (ceux-là mêmes qui permettent au consommateur de bénéficier de prix sur le marché tirés vers le bas) se traduit par l'épandage massif de pesticides et de différents types d'engrais sur les sols cultivés. Les engrais phosphatés déposent avec eux du cadmium ; la bouillie bordelaise, si chère à nos viticulteurs depuis plus d'un siècle, diffuse de grandes quantités de cuivre qui pénètrent le sol. Les apports excessifs de phosphore,

9. Circulaire du ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement du 10 décembre 1999.

d'azote ou de pesticides, vont ruisseler vers les eaux de surface ou s'infiltrer vers les eaux souterraines. On estime que près de 10 % des composés azotés artificiels ou apportés avec les lisiers et fumiers, épandus généreusement, ne sont pas incorporés par les cultures et contaminent les ressources hydriques. Cela peut conduire à l'eutrophisation des eaux superficielles ou à la lente, mais semble-t-il inexorable, dégradation de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine dans les régions de culture intensive.

L'épandage agricole des boues des stations d'épuration des eaux urbaines usées se développe aussi. Il doit pourtant faire l'objet d'un contrôle rigoureux, sous peine de provoquer une dispersion diffuse de toxiques, et leur incorporation dans la chaîne alimentaire. Car ces boues concentrent des produits chimiques organiques (solvants de peintures, pesticides, détergents, hydrocarbures...) ou inorganiques (surtout métaux) éliminés avec nos eaux usées et les eaux de ruissellement des voiries urbaines. Ces polluants s'accumulent ainsi dans les bassins de décantation des eaux résiduaires et se retrouvent dans les boues. Des normes de qualité ont été édictées, plus ou moins contraignantes selon la destination finale de ces boues. Les normes deviennent particulièrement sévères pour les utilisations en amendement agricole, afin de réduire le risque de contamination de la chaîne alimentaire. Mais on sait mal, encore aujourd'hui, comment et dans quelles proportions certains des composés ainsi épandus sont transférés vers les végétaux, sont fixés dans le sol ou sont progressivement entraînés en profondeur vers les couches riches en eau. C'est pourquoi tout épandage devrait répondre aujourd'hui à des règles de bonnes pratiques agricoles.

Les agriculteurs semblent avoir pris conscience du problème. Mais il faudra encore du temps avant qu'on cesse de considérer « notre terre nourricière » comme douée de pouvoirs d'épuration infinis. Une altération du sol et de sa qualité se répare très lentement... sur des centaines, voire des milliers d'années.

TABLEAU 4-4. – ESTIMATION DU NOMBRE DE SITES CONTAMINÉS
DANS DIVERS PAYS

Pays	Nombre de sites	Commentaires
Allemagne	143 252	Sites possiblement contaminés (données de 1994)
Autriche	1 807	Registre des sites potentiellement contaminés (données de 1995)
Belgique	2 000	Inventaire des sites potentiellement contaminés (données de 1995)
Canada	5 000	Nombre de « sites à hauts risques » tirés d'un inventaire national recensant jusqu'à 10 000 sites potentiels (données de 1993)
Danemark	2 200	Nombre de sites « problématiques » (données de 1989)
États-Unis	1 355 38 000	Liste nationale des priorités (1994) Base de données de l'EPA (1995)
Grande-Bretagne	> 100 000	Estimé basé sur une enquête sur les terrains abandonnés et sur d'autres sources nationales ; 5 000 à 20 000 d'entre eux pourraient présenter un risque significatif
Hollande	120 000	25 000 sites peuvent présenter un risque sérieux pour l'environnement ; plus de 60 % sont d'anciens sites industriels (données de 1991)
Norvège	2 500	Enquête du State Pollution Control Authority (données de 1991)

Source : Petts J., Cairney I. et Smith M., *Risk-Based Contaminated Land Investigation and Assessment*, Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 1997.

LES RISQUES PHYSIQUES

Les rayonnements ionisants : la radioactivité naturelle et artificielle

Qui pourra jamais oublier l'épouvantable accident de Tchernobyl, survenu en Ukraine en 1986 ? Quelques dizaines de morts immédiatement, quelques autres milliers au cours des années suivantes, et aujourd'hui, et demain encore, des malades, des dizaines de milliers de malades, adultes et enfants. Des zones contaminées pour des siècles. Tchernobyl, mais aussi d'autres noms moins connus du public, « personnifient » en quelque sorte les horreurs de la radioactivité artificielle mal contrôlée.

En France, loin des pays de l'Est réputés pour posséder un parc électronucléaire dramatiquement ancien et mal géré, 80 % de l'électricité nationale est produite dans des réacteurs atomiques. Faut-il pour autant avoir peur d'une contamination généralisée de l'environnement ? Ces centrales rejettent au quotidien des effluents radioactifs dans l'air et les rivières, rejets parfaitement autorisés par les autorités administratives. Les quantités admises ont été soigneusement évaluées avant que ne soient délivrées les autorisations de rejets, à des niveaux considérés comme très faibles. Y a-t-il un impact sanitaire sur les populations environnantes ? Comment savoir si les déchets de

l'industrie nucléaire, pour lesquels le gouvernement a tant de mal à trouver un site d'accueil, occasionnent un risque ? Tout le monde sait que les centrales et les usines nucléaires françaises sont plus sûres que celles des pays de l'Est, mais sont-elles pour autant complètement inoffensives pour la santé ?

À côté de cette radioactivité d'origine industrielle, qui suscite de la méfiance, il y a la radioactivité générée par le secteur médical. Pour détecter des maladies, pour soigner, les médecins utilisent les rayonnements ionisants. Nul ne s'en méfie, parce que ces rayons-là sont supposés être bénéfiques. Ils n'en sont pas moins aussi dangereux que les autres. En fait, ce sont les mêmes...

Comment se retrouver dans ce dédale technico-médical, compliqué par de gros enjeux économiques et politiques ?

Les principales expositions aux rayons ionisants

La découverte des rayons X par Roëntgen en 1895, celles de la radioactivité de l'uranium par Henri Becquerel en 1896, et du radium et du polonium par Pierre et Marie Curie en 1898 ont inauguré le ^{xx}e siècle. Les sources naturelles de rayonnements ont été peu à peu identifiées, tandis que les développements technologiques conduisaient à utiliser la radioactivité elle-même, et les rayonnements produits par cette radioactivité ou des appareils générateurs de rayonnements (par exemple appareils de radiographie) dans des domaines de plus en plus nombreux.

Les premières applications des « rayons » ont été médicales. La pratique de la radiographie s'est répandue lors de la Première Guerre mondiale. Radiothérapie et médecine nucléaire ont suivi. Lors de la Seconde Guerre mondiale, l'énergie nucléaire a été exploitée pour faire l'arme atomique. Cette énergie a, peu après, été utilisée à des fins pacifiques comme la production d'électricité et la propulsion de navires. D'autres usages des rayonnements ont vu le jour, comme le contrôle des matériaux par gammagraphie, la stérilisation d'aliments et d'objets, les traitements de surface, l'inspection de bagages et colis, la détection d'incendie, etc.

Habitants de la planète, les Français sont exposés à l'irradiation d'origine naturelle. Riverains d'installations industrielles (centrales nucléaires, usines de retraitement, fabrication du combustible

nucléaire, parfois même usines chimiques sans connexion avec le nucléaire), ils peuvent en subir l'impact. Consommateurs, ils sont soumis au rayonnement de certains objets (télévisions, montres, par exemple). Patients, ils bénéficient du radiodiagnostic (pour déterminer l'affection) et parfois de la radiothérapie (pour soigner l'affection). Enfin, 250 000 d'entre eux travaillent dans l'un de ces secteurs.

Avant de poursuivre plus avant, il est nécessaire d'expliquer que l'on a affaire à deux types d'exposition aux rayonnements ionisants : l'irradiation et la contamination. Les éléments radioactifs (voir *infra*) génèrent des radiations. Si des éléments radioactifs se déposent sur un objet ou un individu, celui-ci est alors contaminé. Cette contamination peut être *externe* (sur la peau ou les cheveux par exemple), ou *interne* (par inhalation ou ingestion). La contamination génère forcément une irradiation, puisque les particules émettent des rayons. Mais l'irradiation n'est pas forcément consécutive à une contamination, soit parce que les particules radioactives sont dans l'environnement, soit parce que les rayonnements sont produits directement par des générateurs ou proviennent de l'espace.

Les expositions « naturelles » à la radioactivité ont plusieurs origines. On trouve des particules ionisantes en provenance de l'espace (sources dites « cosmiques »), et des atomes radioactifs contenus à l'origine dans la croûte terrestre (sources dites « telluriques »). Elles conduisent à une irradiation directe, ainsi qu'à une contamination par ingestion ou inhalation. L'irradiation par le rayonnement cosmique avoisine 0,3 mSv¹ (voir *infra*) par an au niveau de la mer et augmente avec l'altitude, comme à La Paz, en Bolivie, avec 2 mSv par an. Le bombardement cosmique peut aussi transformer des atomes stables en créant des isotopes radioactifs dont le plus célèbre est le carbone 14, que nous incorporons puisqu'il participe au cycle du carbone. À cause des sources telluriques, le sol émet un rayonnement d'une intensité similaire à celui qui provient du ciel. Mais les éléments radioactifs présents dès la formation de la planète et leurs descendants²

1. Le Sievert (Sv), et son sous-multiple, le milliSv (mSv) sont des unités de mesure des rayonnements ionisants décrites p. 312.

2. Les descendants d'un atome radioactif sont les atomes obtenus après sa désintégration. Par exemple, l'uranium va donner du radium, celui-ci du radon, qui se désintégrera à son tour jusqu'à obtention d'un isotope stable du plomb.

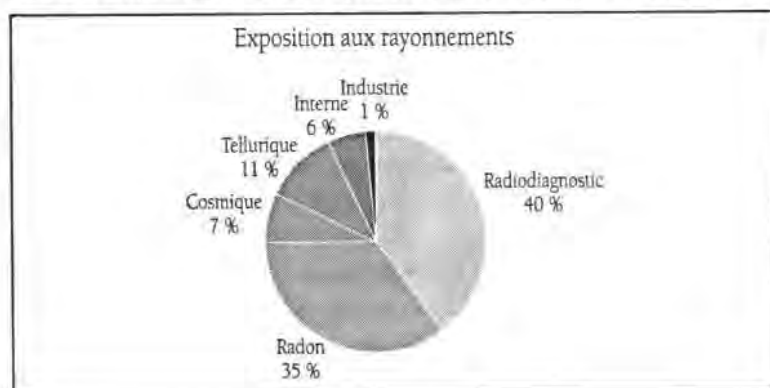
entrent aussi dans les cycles naturels, comme le potassium 40 qui est présent dans l'alimentation et constitue la principale source radioactive dans notre corps. La principale exposition « naturelle » est en fait domestique, à cause des émanations d'un gaz provenant du sol, le Radon, descendant de l'Uranium et du Thorium, qui est piégé dans les bâtiments.

Au bilan, l'exposition du public, en termes de dose annuelle moyenne, comprend trois composantes d'importance similaire :

- l'exposition médicale (radiodiagnostic à hauteur d'environ 1,6 mSv) ;
- l'exposition au Radon, naturelle, mais modifiée par l'homme (près de 1,4 mSv) ;
- l'exposition aux autres sources de l'irradiation naturelle (environ 1 mSv), avec trois composantes du même ordre de grandeur : rayonnement cosmique, irradiation à partir du sol, incorporation de radionucléides naturels comme le Potassium 40.

L'irradiation naturelle varie en fonction de l'altitude de la région (mais peu en France) et de la composition du sol. Dans un département comme la Haute-Vienne, elle avoisine 6 mSv au lieu de 2,4 mSv en moyenne, essentiellement à cause du radon émis par les roches du sol.

FIGURE 5-1. - CONTRIBUTIONS À L'EXPOSITION MOYENNE DE LA POPULATION EN FRANCE (TOTAL, 4 mSv PAR PERSONNE ET PAR AN)



Les expositions industrielles (industrie nucléaire et autres industries, retombées des essais militaires nucléaires, accident de Tchernobyl) concourent à hauteur d'environ 1 % à l'exposition moyenne des

Français. Autour des sites nucléaires, les doses dues aux rejets d'éléments radioactifs sont traditionnellement estimées pour la « population critique », c'est-à-dire celle qui est censée être la plus exposée et en fonction du rejet maximal auquel est autorisée l'installation. Ces doses sont de l'ordre de 0,001 à 0,01 mSv, parfois 0,1 mSv par an.

Quelle que soit la source d'exposition à la radioactivité (naturelle, médicale ou industrielle), le danger est de même nature. Il est fonction du niveau de la dose reçue. En dehors des situations d'accident, le risque principal est celui d'induction de cancers et de leucémies. On peut évaluer ce risque en extrapolant à partir d'études épidémiologiques. Il s'agit du suivi des personnes exposées lors des bombardements d'Hiroshima et Nagasaki et d'autres groupes de populations exposées pour des raisons diagnostiques ou thérapeutiques, y compris pour des affections non cancéreuses, ou enfin de travailleurs œuvrant dans un milieu générateur de radiations. Les calculs de risque prennent aussi en compte le risque d'apparition de malformations congénitales dans la descendance. Ce risque est moins important numériquement ; il est extrapolé à partir d'expérimentations animales. La Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a estimé que pour des expositions prolongées à des doses faibles, la probabilité de développer au cours de sa vie un cancer radio-induit (c'est-à-dire consécutif à une irradiation) conduisant au décès est de 0,05 par unité d'exposition (par Sievert).

Si l'on multiplie ce coefficient par l'exposition moyenne des Français et le nombre d'habitants cette relation conduit à attribuer aux rayonnements ionisants le chiffre très élevé de 12 000 décès par cancer par an. Quelle que soit l'opinion que l'on a sur cette relation (excès de précaution, excès d'optimisme), cet ordre de grandeur permet de situer les enjeux de la protection contre les rayonnements ionisants... et ceux de la controverse sur la « relation dose-effet », c'est-à-dire sur la probabilité de cancer découlant d'une exposition.

• Le cas du radon

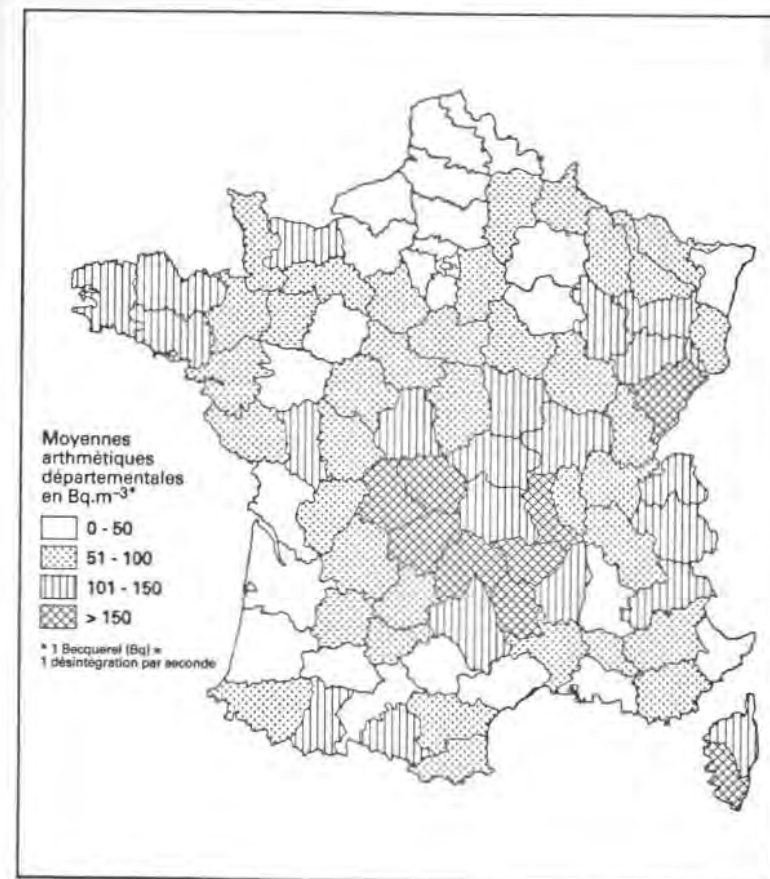
Le radon est présent dans toutes les habitations, mais à des teneurs très variables, selon la géologie des sols et le type d'habitat. Les concentrations vont de la dizaine à la dizaine de milliers de Bq/m³.

Ce gaz radioactif a été reconnu comme cancérigène avéré pour le poumon par le Centre international de recherche sur le cancer, notamment à partir d'études sur des mineurs d'uranium, mais aussi de fer et d'étain. Bien qu'il soit d'origine naturelle, le risque radon doit être maîtrisé. D'abord parce qu'il contribue beaucoup à l'exposition des populations. Également parce que les expositions peuvent être facilement réduites en procédant à des travaux souvent très simples dans les habitations.

Beaucoup de pays européens ont donc adopté des politiques publiques pour réduire les expositions. La France, avec un certain délai par rapport à la plupart de ces pays, a aussi défini une politique publique. Auparavant, une enquête pour connaître la répartition des concentrations dans le pays a été conduite par la Direction générale de la santé avec l'Institut de protection et de sûreté nucléaire. La concentration moyenne est de 65 Bq/m^3 , trois fois supérieure à celle du Royaume-Uni, mais deux fois inférieure à celle de la Suède, deux pays pionniers en matière de lutte contre le radon. L'exposition est très variable, et certains départements ont une moyenne supérieure à 200 Bq/m^3 . Bien qu'une telle estimation soit imprécise, on a pu calculer que le radon contribue à 13 % environ des décès par cancer du poumon (éventuellement en synergie avec le tabac).

Le radon est un risque « domestique », parce qu'il circule à l'intérieur des maisons privées. La réduction du risque requiert par conséquent l'implication des populations. Le ministère de la Santé et le ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement ont commencé à fournir aux particuliers quelques moyens d'agir. Ils ont formé des responsables locaux de santé et d'équipement. Aujourd'hui, les propriétaires peuvent savoir comment procéder à une mesure du radon, dont le coût est d'ailleurs modeste (200 à 400 francs environ). Afin que les particuliers puissent connaître les techniques disponibles pour réduire les concentrations chez eux, la Fédération française du bâtiment et l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) ont rédigé une brochure d'information. Le plus difficile, pour ces experts, et pour les autorités, a été de déterminer les concentrations à partir desquelles il est recommandé d'agir. Difficile, car on ne peut définir un seuil en dessous duquel le risque serait nul. Aussi les valeurs guides sont un compromis entre le coût des travaux, leur faisabilité

FIGURE 5-2. – CARTE DES ACTIVITÉS VOLUMIQUES DU RADON
DANS LES HABITATIONS,
BILAN DE 1982 À 2000



technique et le risque encouru. Idéalement, l'occupant de la maison devrait déterminer lui-même le niveau de ce compromis. En pratique, à partir de 1 000 Bq/m³, on considère qu'il est urgent d'entreprendre des travaux. À partir de 400 Bq/m³, l'action est souhaitable (on parle de « seuil de précaution »). Et 200 Bq/m³ sont considérés comme un maximum pour les nouveaux habitats. Une circulaire de la Direction générale de la santé a récemment adopté ces valeurs dans le contexte des établissements recevant du public, et en particulier dans les écoles. On a pu estimer qu'en France, le nombre de logements concernés serait respectivement de l'ordre de 60 000, 340 000 et 1 450 000, essentiellement en habitat individuel. Pour imprecise qu'elle soit, cette dernière estimation montre l'enjeu économique associé à la définition de ces niveaux d'action.

• Expositions professionnelles

L'exposition des travailleurs par irradiation peut être mesurée individuellement, grâce à un petit appareil portatif nommé « dosimètre ». Environ 250 000 personnes sont ainsi surveillées en France, dans des secteurs très variés. L'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI) est destinataire des résultats et il procède à la vérification du respect de la « valeur limite d'exposition » pour les personnes suivies.

Ce système n'est pas conçu pour établir des bilans statistiques, et, aujourd'hui, il faut encore compiler et comparer plusieurs sources pour établir un bilan national³. Une synthèse de 1997 a montré que la majorité des travailleurs ainsi surveillés sont employés dans le secteur médical (près de 140 000), puis dans le secteur nucléaire (près de 65 000). Le secteur des industries non nucléaires diverses, (chimie, quand on utilise des matières radioactives, soudure au thorium, mais surtout contrôle non destructif par rayons gamma), n'est cependant pas négligeable : près de 22 000 personnes. Il ne faut pas non plus oublier l'enseignement et la recherche (près de 15 000). Dans

un proche avenir, les personnels navigants des compagnies aériennes, exposés aux radiations de la haute altitude, vont être aussi suivis. La nouvelle directive européenne sur la radioprotection indique en effet que leurs doses annuelles, qui sont de l'ordre de 2 mSv/an, doivent être considérées comme « attribuables à l'activité humaine ». En 1997, un peu plus de 400 personnes avaient reçu une dose excédant 20 mSv par an, c'est-à-dire la dose maximale admissible pour un travailleur du nucléaire à partir de l'an 2000. Elles travaillaient en majorité dans le secteur de l'industrie nucléaire, avec toutefois un peu plus de 100 personnes dans le secteur médical.

Ce nombre a beaucoup décliné ces dernières années. Il était encore de 1 000 personnes en 1995. En effet, le 13 mai 2000, la France devra avoir transposé une directive européenne, abaissant la limite annuelle de 50 à 20 mSv⁴ et les employeurs ont dû commencer un effort de réduction des expositions élevées plusieurs années à l'avance pour faire face à cette échéance.

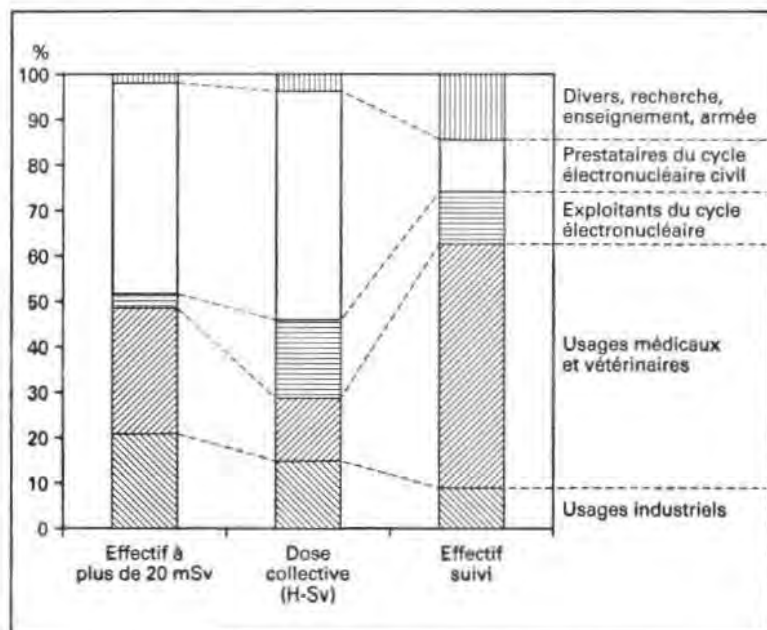
Naturellement, ces moyennes recouvrent des cas d'exposition parfois importants. La limite d'exposition avait été atteinte ou dépassée par un peu moins de 50 travailleurs en 1995, pour l'essentiel dans les secteurs médical et des industries diverses. Les « prestataires extérieurs » (sous-traitants permanents, intervenants occasionnels, intervenants tournant de centrale en centrale – on parle de « nomades du nucléaire ») qui interviennent dans les centrales nucléaires sont les plus exposés. Leur dose moyenne annuelle, bien que supérieure à la moyenne nationale (0,5 mSv), reste cependant de l'ordre de 3,5 mSv. Leurs conditions de suivi et de travail ont fait l'objet de nombreuses critiques qui ont conduit à renforcer la réglementation à leur sujet, avec notamment des restrictions au recours à l'intérim à l'instar de ce qui se fait pour d'autres activités dangereuses.

Ces bilans sont indispensables. Des doses proches des limites réglementaires démontreraient l'échec du système de radioprotection en vigueur, qui repose sur l'obligation de maintenir les doses aussi bas que raisonnablement possible. Les données collectées montrent

3. De récents décrets visent à rendre plus systématique et plus aisé l'établissement de statistiques nationales.

4. Ou à 20 mSv en moyenne sur 5 ans, ce dernier point étant encore en négociation au sein du processus de transposition de la directive européenne en droit français.

FIGURE 5-3. – EXPOSITION DES TRAVAILLEURS
SOUVIS À UN SUIVI DOSIMÉTRIQUE (FRANCE 1997)



que la limite est rarement approchée. Cependant, les statistiques montrent des inégalités importantes dans la distribution des doses. Ainsi, le groupe des prestataires extérieurs de l'industrie nucléaire, qui représente à peine plus de 10 % de l'effectif suivi, reçoit la moitié de la dose « collective » de rayonnement ionisant au niveau national.

• Expositions médicales

Les patients peuvent être irradiés pour soigner des cancers. Cette utilisation thérapeutique (très fortes doses sur la tumeur – jusqu'à 80 Gy – et doses les plus faibles possibles sur les organes sains) n'est pas discutée ici. Les autres usages thérapeutiques ont été peu à peu proscrits. À côté des irradiations thérapeutiques, le radiodiagnostic comprend les radiographies classiques, dentaires, ou les « scanners », mais aussi l'injection de corps radioactifs (par exemple l'exploration

des fonctions pulmonaires avec du Technetium). Ces pratiques génèrent plus du tiers des doses reçues par les Français, mais il n'existe pas de surveillance systématique des doses aux patients. Une grande enquête a été réalisée, il y a près de 15 ans, d'où sont tirées les estimations pour la population générale. Les informations plus récentes concernent des doses typiques par examen, observées à l'occasion de campagnes de mesure. À mesure que la technologie progresse, les doses diminuent. Mais ce progrès est contrebalancé par le recours à de nouveaux types d'examen générant des irradiations. Ainsi la traditionnelle « radio du poumon » n'expose qu'à 0,1 mSv, tandis que les scanners conduisent à des doses efficaces (dose moyenne sur le corps entier, voir annexe, p. 312) allant jusqu'à 10 mSv, certains organes étant nettement plus irradiés.

Il n'y a pas dans le domaine médical de limites de dose, mais les règles internationales de radioprotection prévoient la nécessité, pour les médecins, de justifier les actes et d'optimiser les doses délivrées aux patients. Un médecin doit, comme d'ailleurs pour tout examen, se poser la question : « Est-ce que l'examen et le risque qu'il engendre justifient que l'on prenne le risque d'effets secondaires éventuels ? » et il ne peut y avoir de réponse globale. En revanche, les doses dues à ces irradiations peuvent très facilement être abaissées et doivent être optimisées. Ainsi, des études ont montré que les doses délivrées pouvaient être 5 fois plus faibles sur certaines installations de radiologie que sur d'autres (ceci pour des examens et des morphologies de patients identiques). Quant on remarque que des pays comme le Royaume-Uni et les Pays-Bas ont une dose moyenne par habitant cinq fois plus faible, on en déduit que la réduction possible est importante. La France est en fait l'un des pays du monde où la dose due au radiodiagnostic est la plus élevée.

Une directive européenne porte sur la protection des patients. Le texte doit aussi être transposé en droit français en 2000. Elle prévoit d'optimiser et d'établir des doses de référence pour des examens bien typés. Après une longue période de scepticisme, les praticiens ont pris conscience de la nécessité de bien gérer cet aspect de leur activité. On peut penser que le « gisement » de réductions de dose dans ce secteur de la santé sera ainsi exploité.

• Surveillance et risques latents

Le niveau des doses de rayonnements ionisants effectivement reçues chaque année par les individus n'est pas le seul critère à considérer pour le risque radiologique. Des dispositions nombreuses s'appliquent à la surveillance de l'environnement des sites nucléaires, à la maîtrise du risque d'accident ou à la gestion des déchets radioactifs. Certaines installations présentent un risque potentiel important, même si leur impact est limité en fonctionnement normal.

Selon leur niveau de risque potentiel, les établissements sont classés comme Installation Nucléaire de Base (INB), ou simplement comme Installation Classée pour la Protection de l'Environnement. La Direction de la sûreté des installations nucléaires (DSIN), les Directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (DRIRE) et l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI) se partagent le contrôle de la sûreté et de la radioprotection. Les ministères chargés de l'Environnement, de la Santé, de l'Agriculture, des Douanes, des Armées et de la Sécurité civile interviennent aussi.

Ce système est complexe, par le nombre de ses acteurs, mais aussi parce qu'il a plusieurs objectifs :

La sûreté des installations nucléaires, c'est-à-dire la mise en œuvre de règles et de contrôles pour maîtriser le risque d'accident. Cet aspect, majeur si l'on aborde la question de l'énergie nucléaire, ne peut ici qu'être évoqué.

Le contrôle et la limitation des rejets dans l'environnement. Il s'agit de la délivrance d'autorisations pour les rejets, après une évaluation des doses prévues pour les riverains. Il s'agit aussi de la surveillance radiologique de l'environnement. Au fil des années, des associations (CRIIRAD par exemple), ont acquis un rôle de contre-expertise efficace. On note que cette surveillance n'est organisée que sur le plan de l'environnement et du calcul des doses. La surveillance épidémiologique ne fait pas l'objet d'une organisation spécifique. L'Institut de veille sanitaire va devoir s'atteler à la tâche pour construire une stratégie dans ce domaine comme dans les autres.

La préparation de la réponse à l'accident. Des scénarios d'accident sont aussi étudiés dans le cadre de l'analyse de sûreté. Ces études donnent lieu à des discussions sur l'acceptabilité des scénarios, mais aussi à la mise en place de plans d'intervention. Dans ce

cadre, la mise en place d'outils épidémiologiques pour suivre les populations éventuellement touchées n'est pas prévue. Elle se pose avec plus d'acuité que dans le cas précédent, car les doses, susceptibles d'être plus fortes, font que ces études auraient plus de chance de détecter d'éventuels excès de cancer dans les populations.

La protection des travailleurs, dont il a été question précédemment.

La circulation de l'information et la participation du public. Des Commissions locales d'information (CLI) fournissent un lieu de rencontre entre administration, riverains et exploitants ; la réalité du dialogue ainsi noué a été décrite ; on y reviendra plus loin (voir le dernier chapitre de ce livre). De fait, l'étude de leur fonctionnement a montré une grande hétérogénéité dans les sujets abordés, comme dans la nature des relations entre acteurs. Au niveau national, une Commission centrale de la sécurité et de l'information nucléaire joue un rôle similaire, quant à ses objectifs... et quant à ses limites.

Les INB françaises se concentrent sur vingt sites pour la production d'électricité (soit cinquante-six réacteurs en exploitation), et sur près de trente pour les autres installations (fabrication et retraitement du combustible, autres installations du cycle, réacteurs de recherche et quelques industries non liées à la filière nucléaire comme l'irradiation des aliments).

Pour les riverains des sites français, les expositions commencent à être recalculées sur la base des rejets réels et des contaminations effectives de l'environnement.

C'est notamment ce qui a été fait autour du site de retraitement des combustibles usés de La Hague. La motivation était, en particulier pour voir si les doses effectivement reçues par la population étaient cohérentes avec les résultats d'une étude épidémiologique sur les leucémies autour du site (voir la « parabole des moules » en introduction de ce livre). En effet, les pouvoirs publics, à la suite de la controverse autour de cette étude épidémiologique ont commandé une extension du suivi épidémiologique, mais ils ont jugé aussi qu'une « évaluation réaliste » des expositions et des risques s'imposait. Exploitants, autorités, experts, associations de riverains et associations de défense de l'environnement ont été mis à contribution. Les résultats aboutissent à une estimation de dose de l'ordre de 5 à 50 microSv par an pour le groupe le plus critique. Ces valeurs ne sont pas suffisantes pour expliquer le nombre des leucémies recensées autour du site par la première

étude. Les doses autour d'autres sites ont été recalculées ; Marcoule (avec, là aussi, une autre installation de retraitement), Valduc (un centre du cycle militaire). Les nouveaux textes prévoient la systématisation de la démarche.

Sur le plan des accidents nucléaires, les accidents spectaculaires qui se sont produits sur des sites comme Three Miles Island, Tchernobyl, et récemment Tokaimura au Japon, ont pu faire oublier l'accident anglais de Windscale, et les accidents russes, dont celui de Mayak. Ils rappellent, si besoin était, au public, et aux responsables, que les garanties de sécurité ne sont pas absolues. Contrairement à ce qui a pu être dit il y a trente ans, il n'est plus possible d'afficher des objectifs de « risque nul ». D'autres accidents importants ont résulté de la perte de sources radioactives à usage industriel ou médical. Dans le monde, ce type d'accident arrive presque chaque année. Un des plus graves a eu lieu, en 1987, à Goiana au Brésil : 4 morts, 50 blessés et 140 personnes contaminées sérieusement (parmi les 100 000 examinées) et la contamination de plusieurs quartiers de la ville, ont résulté de la « découverte » fortuite en ville d'une source de Césium 137 de la taille d'une grosse bille. Dans le sud de la France, dans la nuit du 2 au 3 juin 1998, les stations de contrôle ont relevé une très forte augmentation des teneurs en Césium 137. La recherche de la source de pollution, qui a mobilisé les Suisses, les Anglais, les Italiens, les Espagnols et les Américains, a permis de repérer qu'une source de Césium 137 avait été fondue dans le four d'une aciérie à Algésiras (Espagne). Les doses n'étaient pas cette fois préoccupantes (sauf peut-être sur le site lui-même), mais cet incident illustre la nécessité d'une vigilance permanente, et l'importance de la circulation de l'information, qui avait fait défaut au moment de Tchernobyl.

Aujourd'hui, les déchets radioactifs sont un des sujets de préoccupation les plus importants du public. Le stockage des déchets pose des questions de risque (un relâchement accidentel de radioactivité dans l'environnement est-il possible ?), et d'éthique (est-ce un fardeau pour nos descendants ?). Des sites accueillent les déchets de faible et moyenne activité (et à vie relativement courte, la surveillance des sites après leur fermeture étant prévue pour seulement 300 ans) à proximité de La Hague et dans l'Aube, à Soullaines. Pour les déchets très actifs et à vie longue (jusqu'à plusieurs milliers d'années), les difficultés sont nombreuses. Techniquement, il faut déterminer quels sont

les sites (en surface ou souterrains, dans le granite, l'argile ou dans des dômes de sel...) les plus stables sur des centaines de milliers d'années. Il faut tester les meilleurs modes de stockage (emballages, enrobages...). Il faut aussi s'interroger sur les façons de diminuer le volume et la radiotoxicité des déchets par un retraitement poussé, voire par transmutation des radioéléments (opération toujours à l'état de test). Il est extrêmement difficile de prévoir si les doses de rayonnement dues à l'irradiation ou à la contamination des populations riveraines des stockages resteront, sur le long terme, inférieures aux valeurs que l'on veut faire respecter. Il faut prédire à la fois les évolutions géologiques et climatiques (réchauffements, glaciations, etc.) et les comportements humains (intrusions dans le site, mode de vie, etc.).

Les aspects techniques ne sont pas les seuls à considérer. Peut-on abandonner aux générations futures le soin de régler le problème de nos déchets ? Dans les années quatre-vingt, l'idée était de construire les stockages de façon à ce que nos descendants n'aient pas à se préoccuper de la question. Aujourd'hui, le consensus se fait au contraire autour de la notion de « réversibilité », afin que nos héritiers ne soient pas prisonniers d'une solution choisie pour eux. Plus concrètement, le choix d'un site implique la concertation avec les populations concernées. De façon très originale, une approche législative a été retenue pour aborder ces questions à la fois sous l'angle de la recherche scientifique et du choix politique. La loi du 30 décembre 1991 a défini des voies de recherche, mis en place une Commission nationale d'évaluation, et fixé un délai de 15 ans (donc jusqu'en 2006) pour que le Parlement se prononce définitivement sur une solution.

En attendant, la construction du premier laboratoire destiné à tester le stockage en profondeur des déchets hautement radioactifs vient de débuter dans l'est de la France. Si les autorités parviennent à obtenir l'adhésion des riverains, un second laboratoire devrait voir le jour ailleurs en France. Le site n'est pas encore choisi.

La gestion des risques

Quatre défis se posent aux autorités sanitaires et politiques quant il s'agit de gérer les risques des rayonnements ionisants.

Le premier est la controverse sur les « faibles doses ». Y a-t-il un seuil en dessous duquel il n'y aurait plus d'effet ? Si un tel seuil existait,

et s'il était au-dessus des expositions naturelles auxquelles tout un chacun est exposé, de nombreuses dispositions de radioprotection seraient inutiles. En revanche, si les relations utilisées aujourd'hui pour exprimer le lien entre risque de cancer et dose étaient trop optimistes, il conviendrait de prendre des dispositions plus sévères. Comme l'observation épidémiologique est inefficace à ces niveaux faibles du risque, cette querelle n'a pas d'issue à court terme. Au passage, on notera que cette difficulté se retrouve d'ailleurs pour presque tous les cancérogènes.

Le second est l'ambition du système de radioprotection de gérer dans un cadre unique des sources de risque très diverses : naturel non modifiable, naturel modifiable comme le radon, industrie nucléaire, autres activités industrielles, médecine, objets de consommation, etc. C'est le choix fait par la CIPR et l'Union européenne, en particulier dans la directive Euratom du 13 mai 1996 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants. Cette recherche de cohérence permet une vision intégrée du domaine et a des avantages. Ainsi calcule-t-on de la même façon le risque qui peut résulter de circonstances très différentes, ce qui est loin d'être toujours le cas dans d'autres domaines. Il serait dommageable de renoncer à cette ambition d'intégration. Pour autant, elle n'est pas aisée car la relation médecin-malade, les rapports entre un site nucléaire et ses riverains ou les attitudes des propriétaires de maisons à forte teneur en radon appellent à l'évidence des solutions diverses en termes de gestion. On mesure aussi la complexité de ce système dans les difficultés rencontrées pour transposer ce texte en droit français, car les administrations responsables sont nombreuses (Santé, Travail, Environnement, Industrie, Sécurité civile, Transports, Douanes, Défense, etc.).

Le troisième défi est le manque de liens entre la gestion du risque radiologique et celle d'autres questions de santé publique. Le système d'évaluation et de gestion s'est développé de façon autonome depuis trois quarts de siècle, tant au niveau international que national. On a vu le rôle de la CIPR. L'Organisation mondiale de la santé a mis en place un comité spécial sur les effets des radiations. Il fournit des bilans réguliers sur toutes les expositions, la synthèse de toutes les études épidémiologiques et les recherches sur la radiocancérogenèse. Ces bilans sont sans équivalents dans d'autres secteurs, mais ils sont

conduits de façon autonome, et les liens avec les autres domaines sont quasi inexistantes. En France, on aura noté que les organismes publics chargés de la gestion de ce risque sont tous spécifiques. Un des exemples les plus marquants de cet isolement est le cas de la réhabilitation des sites pollués. Les objectifs en termes de niveau de risque qualifiés de « frontières de l'inacceptable » ne sont pas cohérents avec ceux des sites pollués par les autres cancérogènes, les risques « acceptés » pour les rayonnements étant nettement supérieurs (un facteur 100 dans certains cas).

Le quatrième défi, enfin, est l'impossibilité de dissocier le débat sur l'énergie nucléaire de celui de la protection du public et des travailleurs contre les rayonnements ionisants, en général. La place donnée dans ce texte aux questions nucléaires en témoigne. Pourtant, elle laissera probablement insatisfaits de nombreux lecteurs car elle n'aborde qu'un aspect du problème et laisse de côté le risque de catastrophe qui est bien au cœur du débat. Mais au-delà, si le risque des rayonnements ionisants est un enjeu majeur de l'industrie nucléaire, l'industrie nucléaire n'est pas le seul enjeu à considérer si l'on veut conduire une politique de santé publique face aux rayonnements ionisants. En utilisant les relations dose-effet disponibles aujourd'hui (cf. *supra* sur la querelle des faibles doses), le nombre des cancers radio-induits que l'on pourrait éviter chaque année, par un effort faible en dehors du domaine nucléaire, dépasse le millier.

Les deux premières difficultés sont exacerbées par le poids du débat sur le nucléaire. La querelle sur les faibles doses y est nettement plus violente qu'ailleurs. La réflexion sur le risque du radon a été ralentie à la fois par ceux qui ont dénoncé de nouveaux « propos alarmistes » sur les faibles doses et, de l'autre côté, par le manque d'enthousiasme de ceux qui considèrent que l'attention portée aux expositions naturelles est une façon de dédouaner les impacts des installations nucléaires. Une conjoncture assez voisine aboutit à une discrétion, inégalée en Europe, du discours de l'ensemble des acteurs sur les expositions médicales, jusqu'à une période très récente. À l'évidence, la maîtrise du risque des rayonnements ionisants reste encore un élément majeur du débat sur le nucléaire, et les perspectives de santé publique y trouvent difficilement leur place. Pour autant, faut-il attendre sa clarification pour aborder enfin la question des rayonnements ionisants en tant que telle ?

La réorganisation de la gestion du risque nucléaire est à l'ordre du jour. Rapports de l'Office parlementaire d'évaluation des choix technologiques et projets de lois se succèdent. Ils traitent de l'indépendance de l'expertise, de l'autonomie de la décision par rapport au pouvoir politique, de la transparence de l'information et de l'ouverture des mécanismes de décision dans le domaine nucléaire. Beaucoup de citoyens attendent de meilleures solutions. La loi sur les déchets de 1991 a été considérée comme une ouverture intéressante ; le texte sur la « transparence nucléaire », est attendu avec impatience... depuis presque trois ans. Il serait sans doute naïf de penser qu'elle règlera tous les problèmes du débat sur le nucléaire mais, le ferait-elle, elle laisserait en suspens plusieurs des questions évoquées plus haut. En particulier, le débat ne porte pratiquement pas sur l'articulation entre les politiques de gestion du risque radiologique et les autres questions de santé publique. Un important travail reste à faire pour faire progresser la cohérence des politiques publiques sur les risques.

Les champs électromagnétiques de basse fréquence (et le téléphone cellulaire)

La production, le transport, la distribution et l'usage de l'électricité s'accompagnent inévitablement d'une exposition à des champs électromagnétiques de basse fréquence. Dans les pays industrialisés, et tout particulièrement en milieu urbain, quasiment tout le monde est exposé à de tels champs. L'explosion de l'utilisation du téléphone portable conduit à un nouveau type d'exposition à des champs électromagnétiques, dans la gamme des radiofréquences (gamme des micro-ondes, ultra-hautes fréquences). Malgré un très important effort de recherche poursuivi, depuis plus de vingt ans pour les champs de très basse fréquence, depuis plus récemment pour les radiotéléphones, recherches qui impliquent de nombreuses disciplines (épidémiologie, biophysique, biologie cellulaire, toxicologie), l'évaluation des risques sanitaires qui pourraient être créés par ces expositions laisse persister de nombreuses incertitudes. En particulier, on aimerait savoir si les champs de basse fréquence peuvent jouer un rôle favorisant le développement de certains cancers chez l'homme. L'approche épidémiologique a fourni des résultats contradictoires. Quant aux résultats des études biologiques, ils sont peu reproductibles

dans la « vraie vie ». Comprendre comment des ondes électromagnétiques porteuses d'une énergie très faible peuvent interagir avec le vivant reste un mystère.

Nature et sources des champs électromagnétiques de basse fréquence

Le courant électrique alternatif de fréquence 50 Herz (60 Hz en Amérique du Nord) génère deux types de champs :

- un champ électrique qui est lié à la force des charges électriques et dont l'intensité se mesure en Volt par mètre (V/m) ;
- un champ magnétique qui est lié au déplacement des charges électriques et dont la densité se mesure en Ampère par mètre (ou encore en Gauss et plus récemment en Tesla).

Des noms barbares pour le profane, mais essentiels aux calculs et à la description des choses⁵.

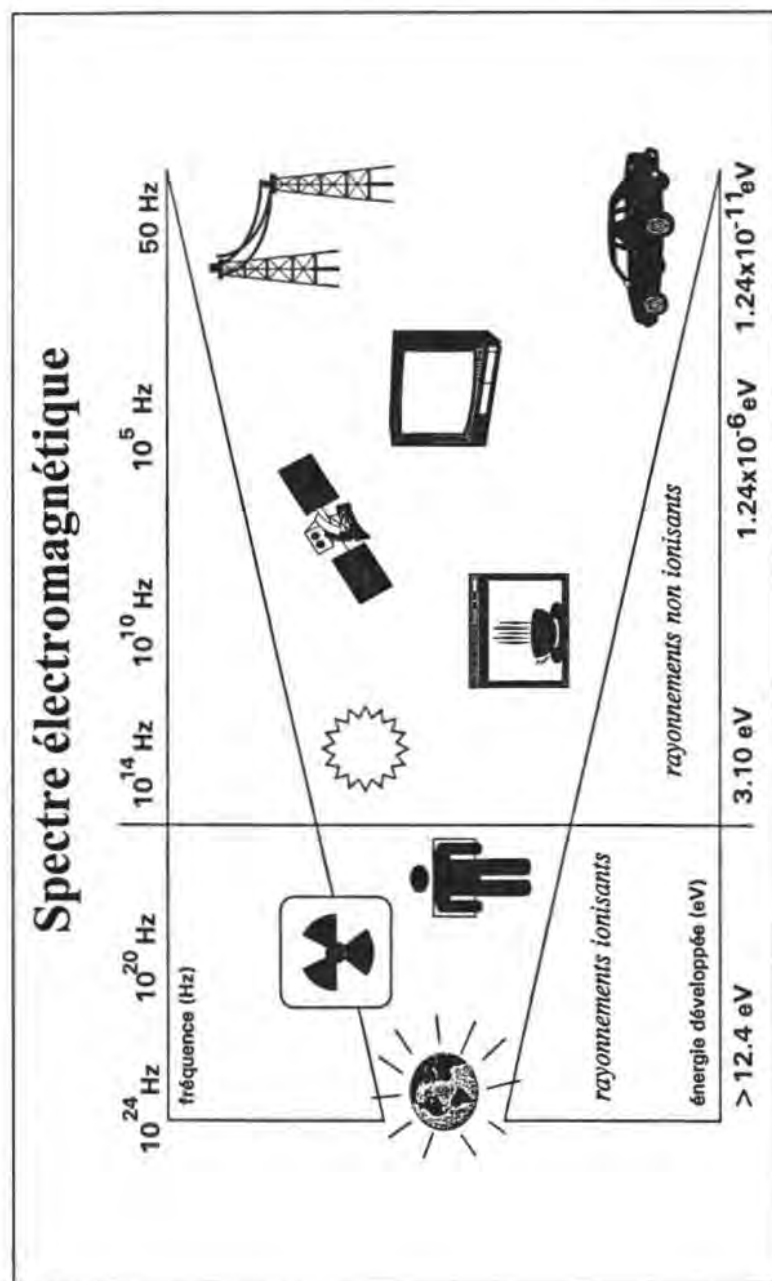
Les champs électromagnétiques de très basse fréquence diminuent rapidement lorsque l'on s'éloigne de la source émettrice. De plus, l'énergie dont ils sont porteurs est très faible. Les sources possibles peuvent être naturelles : champ magnétique terrestre, ou champs électriques liés aux phénomènes orageux. D'autres sources sont constituées par les lignes de transports électriques à haute ou basse tension, lignes de distribution, transformateurs, câbles électriques des habitations. Ou encore les appareils électroménagers, tels que couvertures électriques, télévision, grille-pain, cuisinières électriques, etc. Il y a aussi les appareils d'éclairage et les moteurs électriques, comme les locomotives, les alternateurs, etc.

• Une exposition complexe à caractériser

Les champs électromagnétiques de basse fréquence ne sont pas détectables par l'être humain. Il faut des appareils spéciaux pour les mesurer. Mais l'exposition à ces champs n'est pas caractérisable de la

5. La fréquence d'un courant électrique est le nombre de fois que le courant change de sens chaque seconde. Un courant qui changerait de sens une fois par seconde aurait une fréquence de 1 Hz. L'énergie portée par un courant électrique est proportionnelle à sa fréquence. Cela permet de distinguer différents types de rayonnement qui forment l'ensemble du spectre électromagnétique comme l'illustre la figure 5-4.

FIGURE 5-4. — LE SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE



même façon que celle liée à un produit chimique. Dans ce dernier cas, on sait que la dose est un facteur fondamental à considérer : une manière acceptable de l'estimer est alors de calculer le produit cumulé de la concentration par la durée d'exposition. Mais pour les champs de basse fréquence, on ne sait pas comment caractériser l'exposition en raison de nombreuses incertitudes scientifiques. Autrement dit, on ne sait pas quel est le paramètre pertinent à prendre en compte tant au plan biologique que physique. On peut décrire un champ électromagnétique par sa force (en Volt/m et en Tesla), par ses variations dans le temps et dans l'espace, par sa valeur moyenne sur une durée donnée, par la valeur des pics, par l'intermédiaire des courants induits dans le corps humain, par la durée de l'exposition, par la valeur du champ électrique, du champ magnétique ou d'une combinaison des deux, par la quantité d'énergie délivrée à la matière. Une des limites des résultats épidémiologiques disponibles est justement qu'ils varient selon le type d'indicateur d'exposition utilisé.

La façon la plus courante de caractériser un champ est de mesurer son intensité⁶. Le citoyen est exposé de façon quasi permanente à des champs électromagnétiques de basse fréquence dont les sources sont multiples. Les champs électriques sont facilement arrêtés par toute sorte d'obstacles (végétation, cloisons, etc.), alors que les champs magnétiques ne sont arrêtés que par des structures métalliques denses.

• Les effets sur le vivant

L'étude des effets possibles sur la santé des champs électromagnétiques fait appel aux expériences *in vitro* sur des cellules ou des tissus, aux expérimentations animales et aux études épidémiologiques chez l'homme.

On connaît bien l'effet sur le vivant des rayonnements ionisants (la radioactivité), porteurs d'une très grande énergie. L'effet thermique des micro-ondes est également bien décrit et utilisé dans des

6. Sous une ligne à très haute tension (400 kV, 2 000 A), c'est-à-dire approximativement à 10 m des conducteurs, on mesure un champ magnétique d'environ 30 μ T et un champ électrique d'environ 5 kV/m. À 100 m de l'axe, ces valeurs sont respectivement de 1 μ T et 0,2 kV/m. À une distance de 3 cm, un poste de télévision génère 30 μ T et un rasoir électrique de l'ordre de 1 000 μ T.

applications domestiques (four). Mais les champs de basse fréquence posent des problèmes scientifiques complexes en raison de l'absence de mécanisme connu d'action sur le vivant.

Une histoire étonnante

En 1979, une chercheuse américaine, Nancy Wertheimer, publia dans la revue *American Journal of Epidemiology* un article faisant état d'une relation statistique entre la fréquence des cancers chez l'enfant et son exposition aux champs électromagnétiques. C'était la première fois qu'une telle relation était observée et elle était fortuite : c'est en étudiant un problème différent que le chercheur l'avait constatée. Les épidémiologistes furent donc sceptiques mais, compte tenu de la « sensibilité » du sujet, il convenait de mener de nouvelles études spécifiquement conçues pour tester cette hypothèse.

C'était la première fois qu'un danger potentiel lié à un facteur d'environnement était révélé directement par une étude en population générale. Habituellement, en effet, ces dangers sont soupçonnés soit par des études chez l'animal soumis à des expositions intenses, soit par des études épidémiologiques faites au sein de populations très exposées du fait, en particulier, de leur profession. Dans le cas présent, c'est une étude en population générale connaissant des conditions d'exposition banales en milieu urbain qui a constitué le signal initial.

Depuis l'étude de Nancy Wertheimer, environ une centaine d'études épidémiologiques ont été réalisées et publiées. C'est énorme et cela a mobilisé des ressources colossales. De nombreuses synthèses en ont été faites par des groupes d'experts français ou étrangers. Les scientifiques sont d'accord sur un point : l'ensemble des résultats épidémiologiques ne permet pas d'aboutir à une évaluation cohérente du risque. Il existe trop de contradictions. Les critères habituellement utilisés pour qu'une relation statistique soit considérée comme « causale » ne sont pas réunis. D'un autre côté, ces études ne permettent pas d'exclure complètement l'existence d'un danger. Alors, danger ou non ? L'épidémiologie ne peut pas répondre à cette question.

Dans ces conditions, il est logique de conclure que si un effet nocif existait, il serait faible comparé aux cancérogènes déjà connus. On se trouve donc dans une situation d'incertitude, et cela d'autant plus que le recours aux études cellulaires ou animales qui ont été réa-

lisées à la suite des premières observations épidémiologiques n'a pas non plus permis de faire avancer significativement les connaissances.

Les études de laboratoires se sont intéressées au métabolisme du calcium, aux effets génétiques, hormonaux, immunitaires et aux échanges chimiques à travers les membranes cellulaires. Aux doses habituellement observées, aucun effet n'a été mis en évidence. À haute intensité de champs, certains effets se produisent sur les mouvements du calcium à travers la membrane cellulaire ou certaines réponses hormonales. Mais ils ne sont pas observés pour toutes les fréquences et sont transitoires.

Les études animales ont apporté peu de choses en faveur d'un effet toxique, en dehors d'un effet sur une hormone particulière, la mélatonine – une hormone sécrétée par une glande du cerveau et intervenant dans la régulation des rythmes veille/sommeil. Chez le rongeur, on a trouvé une diminution transitoire du pic de sécrétion nocturne de la mélatonine. Cet effet n'est pas reproduit chez l'homme. Des études animales de grande ampleur ont testé le rôle des champs sur la survenue du cancer. Elles n'ont rien démontré.

Ces constats ont été faits par de nombreux groupes d'experts. C'est le cas, en France, de l'INSERM, du Conseil supérieur de l'hygiène publique et de l'Académie nationale de médecine. À l'étranger, de nombreuses instances se sont également prononcées de façon relativement convergente, notamment l'American Medical Association, la National Academy of Sciences des États-Unis et le National Radiological Protection Board du Royaume-Uni. Sous l'égide de l'Organisation mondiale de la santé, une vaste expertise à l'échelle mondiale devrait aboutir à la formulation de nouvelles conclusions en 2001.

Et les radiotéléphones ?

Diverses publications scientifiques récentes ont alarmé le grand public, sur les risques liés à l'utilisation des téléphones cellulaires, source d'exposition à des champs électromagnétiques radiofréquences (de l'ordre de 900 MHz). L'énergie émise est considérablement plus forte que celle des champs de basse fréquence et, pour une part importante, absorbée par la tête de l'utilisateur. Cela se produit dans un volume réduit, du fait de la chute exponentielle de la puissance absorbée en profondeur du crâne. Des recherches nombreuses

sont engagées dans ce domaine, comme elles l'ont été pour les champs de très basse fréquence. Il s'agit d'expérimentations cellulaires, animales ou humaines ou d'études épidémiologiques, s'intéressant aux effets à court ou à long terme.

Divers tests de cancérogénicité pratiqués chez l'animal de laboratoire n'ont pas permis d'établir la responsabilité de l'exposition aux champs dans l'augmentation de la fréquence de tumeurs. Si une étude a montré une accélération du développement tumoral chez l'animal soumis à des doses très élevées pendant plusieurs mois, ses résultats n'ont pu être répliqués et demandent à être confirmés. Aucune étude épidémiologique sur l'homme n'est à ce jour concluante. Le Centre international de recherche sur le cancer lance une importante étude internationale, avec le soutien de l'Union européenne, dont les résultats ne seront connus que dans plusieurs années. Plusieurs travaux expérimentaux se sont préoccupés de l'effet de l'exposition du crâne sur le système endocrinien, la fonction des glandes du cerveau étant particulièrement complexe et importante, sans produire à ce jour de résultats constants et d'interprétation claire. En revanche, des effets sur la physiologie du sommeil, sur l'électrophysiologie de l'encéphale (l'électroencéphalogramme) et sur certains paramètres de tests cognitifs (faculté d'attention, mémorisation de mots, vitesse de réaction...) semblent plus constants. D'autres manifestations de faible gravité (maux de tête) ont également été rapportées. L'interprétation de ces résultats du point de vue des risques pour la santé est encore très problématique, du fait de l'hétérogénéité des conditions d'expérimentation et parce que ces effets sont, pour l'instant, observés à court terme, sans qu'il soit possible de conclure sur leur implication sur le long terme. S'il n'est pas possible, à l'heure actuelle d'exclure que cet ensemble de faits ait une réelle signification sanitaire, il serait hasardeux de l'affirmer, au risque de rendre vraiment les gens malades... de peur.

Que faire en pratique ?

Les bases scientifiques permettant de promulguer des normes de prévention ne sont pas disponibles. L'Organisation mondiale de la santé a proposé comme repère, il y a une quinzaine d'années, une valeur de 10 milliampères par mètre carré pour des courants induits

dans le corps humain. À partir de ce seuil, une exposition de courte durée peut entraîner des troubles cardiaques et neurologiques. On peut en déduire une correspondance avec les champs électriques et magnétiques externes. C'est ainsi qu'il est recommandé, pour le public, de ne pas avoir une exposition permanente dépassant 5 kV/m et 100 μ T (voir des exemples de ces ordres de grandeur en note de la page 173). De telles valeurs sont exceptionnellement rencontrées dans la vie quotidienne. Pour les radiotéléphones, une interférence a été montrée avec les pacemakers, à courte distance (10 cm et moins du téléphone). Les porteurs de stimulateurs cardiaques sont donc invités à ne pas installer leur portable dans une poche proche du cœur, et à écouter leur téléphone du côté opposé à celui où a été implanté leur stimulateur.

S'agissant des effets possibles à long terme, il est difficile de proposer des mesures ayant un espoir raisonnable de bénéfice pour la santé. Si le risque était lié plutôt à la durée d'exposition, la source à maîtriser serait les lignes de transport d'électricité et les installations de distribution. En revanche, si le paramètre porteur du risque était les pics intenses et brefs, c'est tout l'équipement électroménager qui serait sur la sellette.

Ainsi, il convient de rester vigilant sur cette question. Mais les effets des champs électromagnétiques de basse fréquence ou de radiofréquence sur la santé sont actuellement un problème de recherche scientifique plutôt que de santé publique. Si les lignes de transport d'électricité et le téléphone portable sont la source la plus visible de tels champs, il ne faut pas oublier que l'homme baigne en permanence dans des champs électromagnétiques de fréquence variable.

Les rayonnements ultraviolets

Depuis quelques années, à l'approche de l'été, les magazines tirent la sonnette d'alarme : « Attention au soleil ! Le bronzage est dangereux pour la santé. » Il est heureux qu'enfin le message passe. Pourtant, les critères de beauté évoluent lentement. Revenir de vacances la peau dorée par le soleil reste un objectif absolu pour une grande majorité de femmes ; et les hommes ne sont pas en reste ! Au moins prennent-ils (elles et ils) davantage de précautions qu'autrefois, pour eux et leurs enfants.

Mais les effets négatifs du soleil ne sont pas encore suffisamment connus. Certes, l'exposition lumineuse peut déclencher des cancers, mais aussi d'autres pathologies graves. D'autant que la diminution de la couche d'ozone, phénomène récent dû à l'envoi massif de produits chimiques dans l'atmosphère, aggrave considérablement les phénomènes. Pour comprendre tout cela, quelques notions de base un peu techniques sont indispensables.

Le rayonnement solaire

Le soleil, siège d'explosions thermonucléaires continues, émet des rayonnements électromagnétiques ou photons, caractérisés par leur longueur d'onde. Du fait de la filtration atmosphérique, le spectre solaire qui parvient sur la terre, ne comporte au sol que les radiations de longueur d'onde comprises entre 290 et 3 000 nanomètres (nm) : une partie des ultraviolets (UV), les B (290-320 nm, arrêtés par le verre de vitre) et les A (320-400 nm, aujourd'hui subdivisés en UVA₂ (320-340 nm) et en UVA₁ (340-400 nm)), la lumière visible (400-780 nm) ; et enfin une partie de l'infrarouge (780-3 000 nm). On notera ainsi que les rayons UVC, très énergétiques donc très dangereux, sont complètement arrêtés par la traversée de la couche d'ozone.

Le rôle de celle-ci est donc fondamental pour la vie sur terre. Or l'ozone est détruit par les composés organiques halogénés, principalement les chloro-fluoro-carbone antérieurement utilisés comme gaz propulSION des aérosols ainsi que comme agents réfrigérants. Leur fabrication est interdite depuis 1996, selon le protocole international de Montréal mais leur très longue durée de vie laisse à penser que la couche d'ozone pourrait n'être reconstituée que vers 2050. Cette « couche d'ozone », cette fine enveloppe de la stratosphère dans laquelle la concentration du gaz est plus élevée, est naturellement moins présente au-dessus des pôles de l'Antarctique et de l'Arctique. D'après les relevés effectués depuis des années, ces « trous d'ozone » semblent s'agrandir, indiquant que la concentration de l'ozone dans la stratosphère pourrait aussi diminuer dans certaines contrées tempérées où la protection naturelle contre les radiations électromagnétiques nocives pourrait ainsi être moins bien assurée.

La qualité du rayonnement reçu du soleil n'est pas constante et varie selon l'altitude (la quantité d'UVB est de 20 % supérieure à 1 500 m par rapport au bord de la mer), la latitude, la saison, l'heure de la journée, l'humidité et la pollution atmosphérique. Sous nos latitudes, le spectre est particulièrement riche en UVB entre 11 heures et 14 heures (heures solaires) et l'ensoleillement est maximal en juillet. La quantité d'UVA reçue est cependant très largement supérieure à la quantité d'UVB tant en terme flux (2,5 à 6,5 Watt/cm² contre 0,02 à 0,06 W/cm² d'UVB) qu'en terme de dose puisque les UVA sont présents pratiquement du lever au coucher du soleil. Ainsi, peut-on admettre que lors d'une exposition solaire sur une plage française, pendant une journée, on reçoit 100 fois plus d'UVA que d'UVB. Ce rayonnement direct est à l'origine de l'ensoleillement reçu par l'individu, mais s'y ajoutent :

- Les radiations diffusées par le ciel, phénomènes de réflexion et dispersion dépendant de la longueur d'onde du photon et de la taille des particules en suspension dans l'atmosphère. En atmosphère nuageuse, les altocumulus laissent passer peu d'UV, à l'inverse, les cirrus en laissent passer presque autant qu'un ciel clair.

- Le rayonnement réfléchi par le sol : il atteint 82 % pour la neige, 5 % pour l'eau, 3 % pour l'herbe, 17 % pour le sable, ce qui montre au passage la protection toute relative procurée par un parasol sur une plage sablonneuse.

Effets biologiques de la lumière

Parmi les rayons solaires, les UV sont ceux qui agissent le plus fortement sur les zones découvertes de l'organisme, la peau et l'œil. Ils entraînent de nombreuses réactions chimiques, dont les nombreuses conséquences biologiques ont nécessité au fil des millénaires une adaptation de la vie au soleil. Ainsi, au cours des migrations humaines, quand l'homme a quitté le continent africain pour des régions moins ensoleillées, le taux de mélanine nécessaire à la photoprotection de sa peau a diminué et sa peau s'est éclaircie.

Les photons, rayons électromagnétiques du soleil, en fonction de leur longueur d'onde, sont absorbés par certaines molécules de la matière vivante, appelées chromophores, conduisant à des réactions physico-chimiques qui libèrent de l'énergie. Ces transferts d'énergie à

l'échelle moléculaire entraînent la création d'espèces réactives de l'oxygène (ERO, communément appelées radicaux libres), qui s'auto-génèrent par des réactions en chaîne. Les ERO sont de puissants agresseurs des structures biologiques. Ils s'attaquent à certains lipides constituant les membranes cellulaires, avec pour conséquence la libération de produits mutagènes et de médiateurs de l'inflammation. Ceci explique pourquoi l'industrie cosmétique sort aujourd'hui de nombreux produits destinés à lutter contre les radicaux libres. L'ADN du noyau est également touchée par les ERO, ce qui entraîne un risque de mutation génétique. Enfin, certaines protéines cellulaires riches en soufre sont touchées, perturbant leur activité enzymatique. Les cellules possèdent cependant des défenses. Elles disposent de systèmes « antiradicaux libres » nombreux et complexes qui complètent l'action photoprotectrice des mélanines, des kératines et de systèmes enzymatiques, constituant ensemble la photoprotection naturelle qui va s'opposer aux dégâts cutanés induits par les rayonnements.

Les UVB ont longtemps été désignés comme seuls rayons dangereux. Aujourd'hui, on sait que les UVA peuvent être aussi agressifs. Les études sur cultures cellulaires, ont montré que les réactions photochimiques, directes ou photosensibilisées, ont des conséquences importantes sur la physiologie cellulaire. Elles entraînent notamment des modifications morphologiques et fonctionnelles des cellules. À l'échelle d'un tissu comme la peau, organe externe directement soumis aux facteurs environnementaux, ces actions cellulaires vont conduire à des effets biologiques variés, parfois bénéfiques, plus souvent nocifs. Elles peuvent cependant avoir un effet thérapeutique sur une peau malade.

La peau, une protection bien fragile

Les effets biologiques du soleil sur la peau surviennent chez tous les individus pour peu que la dose et/ou la durée d'insolation aient été suffisantes. L'action calorique est due aux infrarouges et se manifeste par une rougeur immédiate (rougeur) avec élévation de la température cutanée. Une surexposition chez le jeune enfant peut conduire au coup de chaleur. L'action antirachitique est liée aux UVB qui initient au niveau de la peau la synthèse de la vitamine D, essentielle à la formation des os. Le phénomène de synthèse se termine

dans le foie et le rein. De très faibles irradiations solaires suffisent et l'exposition des seules zones habituellement découvertes dix à quinze minutes 2 à 3 fois par semaine l'été suffit pour assurer les besoins en vitamines D. L'action antidépressive est due à la lumière visible. Elle est clairement établie par des constatations cliniques et des essais thérapeutiques en psychiatrie. Son mécanisme passe par la sécrétion d'une hormone, la mélatonine, comme en attestent les dosages effectués chez les sujets atteints du syndrome dépressif saisonnier.

Le coup de soleil survient quelques heures après une exposition intense et se manifeste par une rougeur de la peau associée ou non à des bulles selon l'intensité de l'exposition et l'efficacité de la photoprotection naturelle de l'individu. Les UVB sont principalement en cause, et une dose d'UVA mille fois supérieure est nécessaire pour déclencher un érythème (rougeur) de même intensité. Cependant lors des « bains de soleil », la dose d'UVA reçue étant cent fois supérieure à celle des UVB, on admet que l'effet érythémal est dû pour 80 % aux UVB et 20 % aux UVA. La pigmentation immédiate due aux UVA apparaît quelques minutes après l'exposition chez les sujets naturellement pigmentés. La pigmentation retardée réalise quant à elle ce qu'il est convenu d'appeler le bronzage.

Le hâle débute 2 à 3 jours après l'exposition, atteint son maximum après 20 jours et disparaît très progressivement en plusieurs semaines. Cette pigmentation résulte d'une synthèse de la mélanine par les cellules spécialisées (les mélanocytes) de l'épiderme, rendus très actifs sous l'effet du soleil. Les UVB en sont principalement à l'origine, et l'obtention d'un bronzage avec les seuls UVA suppose des doses énormes. Lesquelles, bien sûr, si elles sont répétitives, déclenchent des dégâts chroniques irréversibles.

Le rôle de la pigmentation dans la photoprotection naturelle est évident et le bronzage augmente celle-ci d'un facteur conséquent. Cependant, le rôle photoprotecteur revient surtout à un type particulier de mélanine, l'eumélanine (prédominante chez le brun) à l'inverse de la phaéomélanine (prédominante chez le roux) qui est peu protectrice et pourrait même être source de production de radicaux libres (les ERO). Par ailleurs, la synthèse mélanique elle-même nécessite l'intervention des ERO qui peuvent parallèlement occasionner des effets cellulaires irréversibles. Des études récentes montrent que des résidus de la réparation des dégâts à l'ADN seraient des éléments

importants du déclenchement du bronzage, laissant supposer que l'ADN aurait pu être préalablement lésé avant que ne se déclenche l'effet, si désiré, de production de pigment. Ainsi, l'acquisition d'un bronzage est certainement une manière risquée d'augmenter sa photoprotection naturelle !

Les rayons ont également un effet sur l'immunité, ce qui pourrait favoriser l'apparition de cancers de la peau en empêchant le rejet de cellules cancéreuses. Le vieillissement de la peau dû au soleil, qualifié aujourd'hui par le terme d'*héliodermie*, est bien connu. Il siège sur les zones les plus exposées. Il se manifeste par une peau épaisse, rugueuse, de couleur jaunâtre avec pores dilatés remplis de pseudo-comédons, marquée de rides profondes, couverte en particulier au cou, sur les avant-bras et les mains de pigmentation irrégulière.

Le rôle des UV dans la genèse des *carcinomes cutanés* est clairement établi. Pour preuve, les lésions sont situées sur les zones cutanées les plus isolées, et plus fréquentes chez les sujets vivant au grand air (cette fréquence est doublée tous les 3°45' quand on se déplace vers l'équateur chez les sujets de même phototype). Le risque est directement dépendant de la dose, et seule la qualité de la protection naturelle semble intervenir dans le risque individuel : maximum chez le roux, minimal chez le noir. Pour les *mélanomes*, autre forme de cancer de la peau, le lien est moins directement évident. Les études épidémiologiques ont montré que les expositions intenses génératrices de coup de soleil subies avant l'âge de 15 ans étaient ici les plus néfastes, ainsi que les expositions brutales chez le citadin. Mais chaque individu réagit différemment aux agressions solaires. Deux facteurs de risque individuel sont aujourd'hui reconnus : les antécédents familiaux de mélanome d'une part, et le grand nombre de grains de beauté (plus de 50). La responsabilité des UVA et des UVB sur le risque de cancer semble également liée aux spécificités individuelles. Ainsi des dégâts cellulaires irréversibles susceptibles de conduire à un cancer peuvent se constituer, sans que n'apparaisse le moindre coup de soleil. Ceci doit être sérieusement pris en compte, car si un produit antiso- laire empêche l'apparition d'un coup de soleil, cela ne veut pas dire qu'il protège de la survenue des cancers cutanés. Tel est le paradoxe : une quinzaine d'études épidémiologiques montrent que le risque de cancers cutanés est plus grand chez les utilisateurs réguliers d'antiso-

laire que chez les individus qui n'en utilisent pas ! Ce risque dû aux UVA ne concerne pas seulement les expositions solaires naturelles, mais également l'usage de sources artificielles à des fins cosmétiques : une très forte augmentation du risque de carcinomes cutanés est démontrée chez les adeptes des lampes à bronzer.

À la suite, des protocoles de Montréal (1987) puis de Copenhague (1992) visant à interdire les produits chimiques altérant la couche d'ozone, les conséquences de la mise en place ou non de ces mesures ont été analysées en terme de fréquence de cancers cutanés (carcinomes et mélanomes). Si les restrictions de production de produits chimiques incriminés ne sont pas appliquées, et en considérant que la population des USA sera de 225 millions d'habitants en 2100, le nombre annuel de cancers cutanés serait alors de 1 500 000 (+ 325 % par rapport à aujourd'hui). Pour l'Europe du Nord, dont la population atteindrait 160 millions d'habitants, le nombre de cancers serait de 550 000 par an (+ 315 %). À l'inverse, l'application du protocole réduirait significativement l'augmentation attendue du nombre annuel de cancers cutanés aux USA (400 000, soit « seulement » 100 % de croissance) et en Europe (170 000, soit plus 95 %).

Un autre organe vital souffre du soleil : l'œil. Les UV peuvent en effet produire des lésions aiguës de la cornée, telle la classique ophtalmie des neiges se traduisant par un œdème des paupières, une photophobie intense et une rougeur oculaire. Ces lésions peuvent être provoquées aussi par la lumière d'un arc électrique. Les radiations accélèrent aussi le vieillissement du cristallin et les UV ont un rôle, certes non exclusif, dans la genèse des cataractes. Enfin, les UV peuvent provoquer des lésions rétinienne définitives qui pourraient être majorées par des phénomènes de photosensibilisation médicamenteuse, et dont la place dans le vieillissement de la rétine reste à préciser.

Les rayons ultraviolets ont d'innombrables effets nocifs sur la peau, surtout lors d'expositions répétées. Le risque est d'autant plus grand que la photoprotection naturelle est faible, c'est-à-dire que la peau est plus claire. Ceci doit conduire à une attitude raisonnable face aux expositions solaires naturelles, avec une éducation précoce des enfants car les dégâts solaires constitués dans l'enfance paraissent pouvoir avoir des conséquences désastreuses plus tard (mélanome). Cette attitude raisonnable passe par l'abstention des expositions

volontaires prolongée, l'utilisation de la photoprotection vestimentaire et le bannissement du bronzage artificiel.

Les produits antisolaires ne paraissent pas avoir la même efficacité contre tous les dégâts solaires. Il ne faut pas négliger leur usage, mais leur utilisation ne doit en aucun cas servir à prolonger « indéfiniment » les expositions. À l'inverse, une peau malade (par exemple pour une affection chronique comme le psoriasis) peut grandement bénéficier d'une photothérapie, c'est-à-dire d'un usage médicalement contrôlé des ultraviolets, sous réserve d'une évaluation claire du rapport bénéfice-risque d'une telle thérapeutique et d'une surveillance vigilante du déroulement du traitement.

Le bruit

Selon une enquête de l'INSEE, en 1996, 43 % des citoyens se plaignaient du bruit. Les principales causes de nuisances citées sont les transports (un ménage citadin sur quatre, un Parisien sur trois), qu'il s'agisse de la circulation automobile, du trafic ferroviaire ou aérien. Viennent ensuite les bruits de voisinage, évoqués par plus de 20 % des citoyens (30 % des Parisiens) alors que seulement 6 % des habitants des zones rurales s'en plaignent. À côté de cette inégalité géographique, le bruit se caractérise aussi par une grande iniquité sociale. Près de 7 millions de Français sont exposés à leur domicile à un bruit supérieur à 65 dB dû aux transports terrestres. Et ils cumulent souvent d'autres sources de nuisance sonore. Dans les banlieues « dortoirs », les niveaux sonores sont en effet souvent très élevés, en raison du nombre et de la proximité des sources de bruits (axes routiers et ferroviaires à grande circulation, densité de population, taille des familles et particularités de leur mode de vie...). Ils sont en outre fréquemment aggravés par la médiocrité de la qualité acoustique de l'habitat.

Quelle nuisance plus subjective que le bruit ? « Ce qui, dans ce qui est perçu par l'ouïe, n'est pas ressenti comme un son musical » (Petit Robert), est aussi défini par l'Afnor⁷ comme « tout phénomène acoustique produisant une sensation généralement considérée

comme désagréable ou gênante ». Et pourtant, le bruit se mesure. Ses effets biologiques et sanitaires ont donné lieu à de nombreuses recherches. C'est une des sources de nuisances et de mal-être les plus mal supportées par la population.

Le bruit est produit par une vibration des molécules de l'air, qui se propage de proche en proche sous la forme d'une onde acoustique à une vitesse moyenne de 340 mètres par seconde dans les conditions météorologiques usuelles. La succession de variations de pression de l'air induites par cette vibration stimule notre appareil auditif. Un son est donc une forme d'énergie mécanique qui obéit à deux unités caractéristiques : son intensité et sa fréquence.

La fréquence d'un son couvre trois domaines : les infrasons et les ultrasons, inaudibles pour l'oreille humaine, et le domaine du spectre sonore. La fréquence d'une onde sonore correspond au nombre de vibrations par seconde de l'onde acoustique. L'unité de mesure de cette fréquence est le Hertz. Un Hertz est égal à une vibration par seconde. L'oreille humaine ne sait enregistrer que les fréquences comprises entre 20 Hertz et 20 000 Hertz, jouant ainsi un rôle de filtre. À cette quantité physique correspond une traduction physiologique, la tonalité du son, qui distingue les sons graves, médiums ou aigus.

TABLEAU 5-1. – FRÉQUENCE ET INTENSITÉ DU SON

Spectre sonore humain				
Infrasons	Graves	Médiums	Aigus	Ultrasons
Fréquences 20 Hz inaudibles	200 Hz	2 kHz	20 kHz	Fréquences inaudibles

L'intensité sonore délimite aussi trois zones : le seuil de détection de l'énergie sonore, la plage de sensibilité de l'oreille et, au-delà, le seuil douloureux qui s'accompagne de détériorations de l'appareil auditif. L'intensité sonore s'exprime en décibels (dB) ; elle permet de comparer deux sons entre eux sur une échelle de mesure audible qui varie de 20 à 120 dB pour les sons usuels. Les dB ne s'additionnent pas sur une échelle arithmétique mais logarithmique : augmenter l'intensité de 10 dB, c'est le multiplier par 100.

7. Association française de normalisation.

Le bruit est un phénomène physique constitué par un ensemble de sons d'origines, d'intensités et de fréquences diverses, répartis le plus souvent de façon anarchique et vécus de manière désagréable. La durée d'une exposition au son est aussi à prendre en compte car, sur une période donnée, le niveau sonore varie. Il faut donc faire une moyenne. On calcule ainsi l'énergie sonore totale reçue pendant une unité de temps donnée (une journée, une tranche horaire...). L'énergie acoustique est qualifiée par un « niveau sonore équivalent » (Leq [*Level equivalent* en anglais]), niveau d'un bruit stable qui donnerait la même énergie qu'un bruit de niveau sonore variable. Par exemple, les études de nuisances sonores dues au trafic routier expriment leurs résultats en Leq calculés sur la tranche horaire 6-22 heures.

L'acuité auditive varie en fonction de l'âge de l'individu, de son état de fatigue, de la situation du moment et de son humeur. L'oreille joue un rôle de filtre ; plus sensible aux hautes fréquences qu'aux fréquences graves, elle ne perçoit pas de la même façon des sons de même niveau mais de fréquences différentes. Le tableau suivant exprime des niveaux sonores typiques de la vie courante.

La gêne ressentie par un individu soumis à des bruits dont il n'a pas la maîtrise est un phénomène personnel, qui dépend de sa culture, de son éducation, de son état de santé, de son environnement et de ses exigences en matière de confort. Ce qui constitue une gêne pour l'un sera parfaitement supportable pour un autre. Ainsi, la mesure physique d'un bruit ne donne qu'une information très indirecte sur la sensation qu'il produit sur un individu donné. Les effets du bruit sur la santé ont été étudiés sur deux registres : les conséquences sur le système auditif, pouvant aller jusqu'à des lésions graves et irréversibles, et les effets non auditifs (perturbation du sommeil, du comportement et des performances au travail, troubles cardio-vasculaires).

Le bruit, une menace pour le système auditif

Si un bruit est considéré habituellement comme gênant à partir de 60 dB, il n'a pas été montré de réduction de la faculté auditive pour des bruits de niveau sonore inférieur à 80 dB sur une journée. L'oreille moyenne ne semble lésée, lors d'une exposition aiguë, que pour des niveaux sonores supérieurs à 120 dB, responsables de

dégâts mécaniques plus ou moins réversibles (rupture du tympan, luxation des osselets), entraînant une surdité dite « de transmission ». Les surdités « de perception », quant à elles, mettent en jeu l'oreille interne et le nerf auditif.

La première perturbation du fonctionnement de l'oreille est une fatigue auditive. Dans cette forme de surdité, la perte d'audition observée après une exposition à un bruit de l'ordre de 110 dB et/ou prolongé est habituellement passagère, mais la fatigue est réelle. Il faut par exemple 16 heures de repos pour récupérer d'une exposition à 100 dB (A) ayant duré 112 minutes. Comment se manifeste cette fatigue de l'audition ? Le seuil d'audibilité a été accru, c'est-à-dire que pour entendre aussi bien un son de fréquence donnée, il faudra que l'intensité sonore soit augmentée par rapport à une situation normale. Si l'intensité sonore a été très grande, et surtout avec des sons très purs (sur une faible gamme de fréquence), la perte auditive peut être d'emblée définitive. Cela se traduira par des sons étranges, les « acouphènes »⁸.

L'atteinte de l'audition concerne d'abord les hautes fréquences. Les personnes n'en ont pas conscience tout de suite, sauf s'il s'agit de mélomanes avertis. La lésion est déjà installée depuis longtemps (jusqu'à 10 ans !), quand la gêne perçue permet le diagnostic ; la latence des troubles est donc très longue. Lors de tests d'audiométrie, on reconnaît une « encoche » (perte d'acuité auditive) préférentiellement dans les 4 000 Hz. (voir la figure 5-6.). Si la nuisance persiste, la perte gagne alors des fréquences moins aiguës, dans la gamme des fréquences d'une conversation (500 à 1000 Hz). C'est celle qui affecte les travailleurs exposés à des ambiances sonores élevées (chaudronniers, marteau-piqueur), ou des adeptes des boîtes de nuit... dont le niveau sonore atteint fréquemment les 85 à 95 dB. La vie quotidienne est alors sérieusement perturbée car cette surdité liée aux traumatismes acoustiques s'accompagne souvent d'un problème d'inintelligibilité dans le bruit ambiant, l'oreille ne sachant plus faire la distinction entre les sons. L'individu, qui comprend moins bien, se retire progressivement de la vie en société, professionnelle, familiale ou de loisirs, et ne communiquera plus avec autrui.

8. Perception d'un son par le sujet, sans énergie sonore, qui prend naissance au niveau de l'oreille interne du fait d'un fonctionnement devenu aberrant suite à l'agression subie.

TABLEAU 5-2. – ÉCHELLES DE MESURE DU BRUIT DE LA VIE COURANTE EN dB (A)⁹

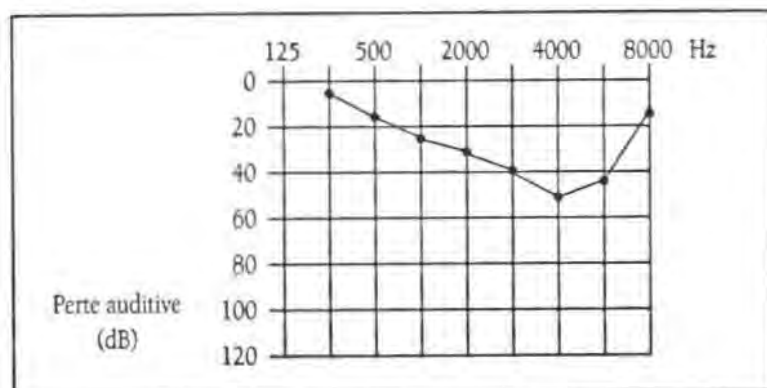
Possibilité de conversation	Sensation auditive	Nbre dB	Bruits intérieurs	Bruits extérieurs	Bruits des véhicules
	Seuil d'audibilité	0			
	Silence inhabituel	5	Laboratoire d'acoustique		
À voix chuchotée	Très calme	10 15	Studio d'enregistrement	Feuilles légères agitées par vent doux dans un jardin silencieux	
	Calme	20 25 30 35	Conversation à voix basse à 1,50 m Appartement dans quartier tranquille		Bateau à voile
À voix normale	Assez calme	40 45	Bureau tranquille dans quartier calme Appartement normal	Bruits minimaux le jour dans la rue	
À voix assez forte	Bruits courants	50 60	Restaurant tranquille, grands magasins Conversation normale, musique de chambre	Rue très tranquille Rue résidentielle	Auto silencieuse Bateau à moteur

Possibilité de conversation	Sensation auditive	Nbre dB	Bruits intérieurs	Bruits extérieurs	Bruits des véhicules
	Bruyant mais supportable	65 70 75	Appartement bruyant Restaurant bruyant musique Atelier dactylo Usine moyenne	Circulation importante	Wagons-lits modernes Métro sur pneus
Difficile	Pénible à entendre	85 95	Radio très puissante Atelier de forgeage	Circulation intense à 1 m Rue, trafic intense	Bruits de métro en marche Klaxons d'autos
Obligation de crier pour se faire entendre	Très difficilement supportable	100 105 110	Scie à ruban Raboteuse Atelier de chaudronnerie	Marteau-piqueur dans une rue à 5 m Métro (intérieur sur certaines lignes)	Moto sans silencieux à 2 m
Impossible	Seuil de douleur Exige une protection individuelle et sociale	120 130 140	Banc d'essais de moteurs Marteau-pilon Turbo-réacteur au banc d'essais		Moteurs d'avion à quelques mètres

Source : Mouret J., Vallet M., *Les Effets du bruit sur la santé*, ministère des Affaires sociales, de la Santé et de la Ville, 1995.

9. Le dB(A) est une mesure pondérée du dB pour tenir compte de la sensibilité de l'oreille ; il consiste à retrancher aux basses fréquences les dB que l'oreille humaine ne perçoit pas.

FIGURE 5-6. — AUDIOGRAMME D'UNE PERSONNE ATTEINTE DE SURDITÉ DE PERCEPTION, AVEC PERTE MAXIMUM DANS LA FRÉQUENCE DES 4 000 Hz



Les mécanismes de cette surdité de perception sont connus. L'accumulation de l'énergie dans l'oreille interne se traduit par des dégradations cellulaires, avec des perturbations chimiques et électriques. Elles entraînent l'apparition des acouphènes et la détérioration de l'information sonore, qui subit des « distorsions » et pénalisent l'intelligibilité. Cette phase se poursuit par la mort cellulaire donnant lieu à un « trou » dans l'analyse de la fonction de l'oreille interne. Ce trou se manifeste par un scotome (voir la figure) sur l'audiogramme, typiquement dans la fréquence des 4 000 Hz.

Les enquêtes réalisées chez les adolescents sont préoccupantes. De l'ordre de 10 % des jeunes scolarisés en lycée présentent des pertes sérieuses (supérieures à 20 dB), notamment dans les sons aigus (6 000 Hz) émis à profusion par baladeurs et sonos surpuissantes. Les statistiques dressées parmi les jeunes recrues confirment cette situation.

En 1997, une enquête du service de santé des Armées, menée dans les centres de sélection pour l'aptitude au Service national a évalué l'audition de jeunes Français de 18-24 ans et étudié les facteurs de risque de surdité¹⁰. Chez les 1 208 sujets testés, la prévalence des

pertes auditives (supérieure ou égale à 15 dB) est de 9 % sur les fréquences médium (0.5-2 kHz) et de 15 % sur les hautes fréquences (4-8 kHz). 60 % des sujets sont exposés régulièrement à au moins une source sonore relativement élevée, responsable d'un traumatisme acoustique. Les otites à répétition dans l'enfance émergent également comme facteur de risque car elles entraînent une susceptibilité accrue au bruit. Chez les sujets ayant eu des otites à répétition dans l'enfance, la baisse d'audition est significative chez les utilisateurs de baladeurs, chez les sujets assidus des discothèques et les concerts rock ainsi que chez les jeunes travaillant en milieu bruyant, alors qu'en l'absence d'exposition au bruit, des antécédents d'otites à répétition ne montrent pas d'impact sur l'audition. Par contre, chez les sujets n'ayant pas eu d'otites à répétition dans l'enfance, les chercheurs ne mettent pas en évidence de différence significative de seuils d'audition entre les exposés et non exposés au bruit.

Les effets non auditifs du bruit

De nombreux travaux suggèrent que des expositions prolongées à des bruits d'intensité supérieure à 85 dB entraînent un risque accru d'hypertension artérielle. Dans une étude conduite au début des années quatre-vingt-dix auprès d'un millier de femmes de l'industrie textile, le bruit prolongé au travail représentait, après les antécédents familiaux et l'excès d'apport en sel, la troisième principale cause d'hypertension artérielle¹¹. Ces observations sont difficiles à confirmer expérimentalement, car la durée de l'exposition ne peut reproduire ces circonstances de l'environnement professionnel ou domestique. De plus, ces études expérimentales portent habituellement sur des personnes saines. Ce qui est certain, cependant, c'est qu'un bruit intense et répété entraîne une augmentation transitoire du rythme cardiaque, avec de grandes variations entre les personnes.

L'appareil digestif peut également être atteint (transit perturbé), ainsi que l'œil (champ visuel altéré), la respiration (modification de

10. JOB A., RAYNAL M., TRICOIRE A., SIGNORET S., RONDET P., « Hearing status of French youth aged 18 to 24 years in 1997 : a cross-sectional epidemiological study in the selection centres of the army in Vincennes and Lyon », *Rev. Épidémiol. Santé publique*, 2000, à paraître.

11. ZHAO Y., ZHANG S., SELVIN S. et SPEAR R.C., « A dose-response relation for noise induced hypertension », *Br. J. Ind. Med.*, 1991, 48, p. 179.

l'amplitude et de la fréquence du rythme respiratoire) et le système endocrinien (augmentation de l'activité de plusieurs glandes : thyroïdienne, surrénale...). Manifestation des nuisances de notre environnement urbain, le bruit est également à l'origine de mécanismes de « stress » et de perturbations du sommeil. Les bruits de voisinage, d'activités industrielles, de loisirs, ou liés aux transports, peuvent provoquer une réaction complexe qui se traduit d'abord par une réaction d'adaptation de l'organisme, avec tentative de protection ou d'évitement. En cas de persistance de cette nuisance, le stress peut entraîner une pathologie somatique ou psychique (états anxieux, dépressifs, avec forte consommation de tranquillisants...). Ces pathologies qualifiées de « psychosomatiques » ne sont pas spécifiques de l'exposition aux bruits, mais constituent les contrecoups d'une réaction générale de l'organisme à un environnement ressenti comme une agression. La notion de gêne due au bruit est bien un concept flou, soumis à la subjectivité et à la diversité des réactions individuelles. Elle prend la forme de diverses contraintes modifiant l'usage normal du logement et des espaces extérieurs (fermeture des fenêtres, perturbation des conversations, de la concentration pour lire, limitation de l'usage du jardin, du balcon, d'un pièce exposée aux bruits extérieurs, intention de déménager...). Ces divers comportements de défense contre l'intrusion du bruit peuvent entraîner un « coût » physiologique et psychologique important : 59 % des consultants anxio-dépressifs en psychiatrie mettent en cause le bruit.

Le bruit perturbateur du sommeil ; la vigilance menacée

La fonction auditive ne s'interrompt pas avec le sommeil. Les perturbations apportées pendant la nuit par les bruits émis aussi bien par la circulation routière, ferroviaire ou aérienne que par le voisinage font l'objet de nombreuses plaintes, que les élus locaux connaissent bien. Les troubles du sommeil liés au bruit se traduisent par un retard à l'endormissement, des réveils nocturnes et précoces. La phase de sommeil dit « paradoxal » est altérée à partir de bruits d'intensité de 40 dB (A) ; les bruits supérieurs à 45 dB (A) altèrent aussi la qualité du sommeil profond : sa durée est réduite au profit d'un sommeil plus léger. On estime que 75 % des troubles du sommeil sont imputables

au bruit. Au total, la fonction réparatrice du sommeil, qui atténue la fatigue physique et psychique, est compromise. Cette fatigue s'accumule. Les personnes puisent de manière croissante sur leurs ressources pour vaquer à leurs occupations professionnelles et de la vie courante. C'est le début d'un cercle vicieux où la capacité de vigilance va être diminuée. Nombre d'accidents de la vie domestique, professionnelle ou lors des déplacements résultent de cette baisse de l'attention, à cause d'un sommeil insuffisant. L'environnement sonore est ainsi « accidentogène » car il peut perturber les performances des personnes lors de l'exécution de tâches nécessitant une attention soutenue.

Le réveil intervient à partir de bruits isolés dont la nature et le niveau les font émerger nettement de l'environnement sonore. Un son de 50 dB réveillera un enfant ; les personnes âgées sont sensibles à des sons de 55 dB, alors qu'il faut habituellement 60 dB pour réveiller un adulte d'âge moyen. Il n'existe pas d'accoutumance physiologique aux bruits perçus pendant le sommeil. Même après plusieurs années d'exposition, une réactivité cardio-vasculaire importante est observée lors des événements sonores nocturnes. Les enfants sont particulièrement sensibles. Leur sommeil, à bruit égal, est plus altéré que chez l'adulte. L'acquisition du langage est perturbée, avec répercussions intellectuelles et psychoaffectives. Il a été montré que les enfants vivant dans le bruit avaient plus de difficultés d'expression orale, mais aussi de lecture et d'écriture ; leur sociabilité est dégradée.

La réglementation du bruit

Les politiques publiques de lutte contre le bruit ont évolué en même temps que la perception de ce phénomène. On peut retracer, au cours des cinquante dernières années, trois phases. Après-guerre, la découverte de la consommation de masse s'est faite dans le bruit : conduire une voiture, prendre l'avion, le train, acheter un poste de télévision, une radio, une tondeuse à gazon. Le progrès technique se manifestait par une dimension sonore admise, celle-ci étant le reflet de notre capacité à créer ce progrès. Avec les années soixante-dix, commencent à être mieux comprises les conséquences d'une urbanisation galopante et l'on commence à parler de « pollution urbaine ». Le bruit devient un sujet d'insatisfaction, mais les politiques de lutte

contre ce bruit sont bien modestes. La société semble avoir une approche fataliste du phénomène. Il faut attendre les années quatre-vingt pour que cette insatisfaction se traduise par une demande d'intervention des pouvoirs publics. Depuis une quinzaine d'années, la demande sociale pour une diminution du bruit s'accroît. Pour autant, si les élus locaux, directement confrontés au mécontentement des électeurs, ont dû prendre en compte ce problème dans leurs décisions d'aménagement urbain, la lutte contre le bruit reste le parent pauvre du budget de l'État : avec 5 milliards de francs par an en moyenne, depuis 1990, la France investit contre le bruit 10 fois moins que pour les déchets. Et ce sont surtout les ménages et les entreprises qui agissent, souvent bien malgré eux (doubles vitrages, isolation du bâtiment, secteur automobile). Les administrations restent pingres et consacrent à cette cause un budget 3 à 4 fois inférieur à celui consenti, par habitant, par l'Allemagne ou les Pays-Bas.

Est-ce parce que le bruit dans la ville reste en grande partie ignoré par les décideurs en tant que problème de santé publique ? Pourtant, avec la loi du 31 décembre 1992, les pouvoirs publics disposent de moyens pour « prévenir, supprimer ou limiter l'émission ou la propagation sans nécessité ou par manque de précautions de bruits ou vibrations de nature à présenter des dangers ou nuire à la santé ». Depuis 1992, un solide dispositif législatif et réglementaire s'est construit, concernant les objets et matériels bruyants (décret du 23 janvier 1995), la protection contre le bruit des transports terrestres (décret du 9 janvier 1995) et aériens, protection renforcée d'aéroports et d'héliports : (arrêtés du 29 décembre 1995, du 17 décembre 1997, et du 27 novembre 1998), prévention du bruit des activités : (bruit de voisinage, discothèques...), amélioration de l'acoustique des logements neufs et des bâtiments publics (nouvelle réglementation du 1^{er} janvier 1996). Il reste à veiller de manière volontariste à l'application de cet arsenal réglementaire. Le retard dans la prise en compte véritable des effets du bruit, en France, est important. Par les gens eux-mêmes, qui n'en perçoivent les conséquences qu'après des années, et par les élus et pouvoirs publics. L'attention portée à l'oreille est sérieusement déficiente.

L'oreille humaine n'est pas faite pour le bruit. Organe essentiel de communication avec les autres hommes et avec la nature, l'oreille

donne du sens à tous les sons naturels, dont l'intensité est quasiment toujours en dessous de 70 dB : le bruissement d'une feuille, le clapotis d'une goutte d'eau, le pas feutré d'un ami (ou ennemi), la voix des enfants qui jouent. Les bruits importants sont exceptionnels dans la nature (le coup de tonnerre atteint 120 dB). Les bruits traumatisants résultent de l'activité d'un homme qui détériore son environnement et ses relations sociales. Un paradoxe éloquent : les jeunes plaisent à s'assembler dans des discothèques où, en raison du bruit à 120 dB, il est impossible de se comprendre et donc de se connaître... Les dégradations de l'oreille qui résultent de ces agressions fortes et répétées sont, dans la grande majorité des cas, irréversibles. La prévention sociale et individuelle est donc essentielle pour combattre cette source majeure de handicap.

CONCLUSION

AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'ENVIRONNEMENT

*« Les Hommes ne sont la proie de la superstition
qu'aussi longtemps que dure la crainte. »*

SPINOZA.

L'environnement et la santé : un mélange détonant

Que la qualité de l'environnement physique, chimique et microbiologique soit un des principaux déterminants de l'état de santé des populations est une évidence. La qualité de l'eau distribuée, de l'air respiré, des aliments ingérés, le niveau de radioactivité ou du bruit sont des facteurs influençant de façon directe ou indirecte la survenue de nombreuses maladies. Cela est établi depuis fort longtemps. Mais cette évidence a sans doute été oubliée.

Au XIX^e siècle, ce sont des préoccupations liées à l'environnement qui fondèrent la médecine préventive et la santé publique moderne, dans la foulée du mouvement hygiéniste qui attira l'attention sur l'assainissement, l'importance de l'eau potable, la salubrité des logements, les conditions de travail, la sécurité alimentaire.

Mais au ^{xx}e siècle, tout s'est passé comme si les succès de la médecine curative avaient éclipsé ceux de la prévention collective et de l'hygiène publique. Il y a là un paradoxe entre le rôle réel de l'environnement comme facteur de santé et l'importance restreinte qu'il occupe aujourd'hui dans le champ sanitaire. Ce paradoxe est parfois si fort qu'il produit de véritables crises sociales et politiques.

La « radioscopie » de ces crises permet de comprendre certaines faiblesses dans la gestion des risques sanitaires liés à l'environnement. Elle révèle aussi d'importantes évolutions sociales et un changement d'attitude face au risque. Elle souligne encore la nécessité de faire progresser les méthodes d'évaluation des risques sanitaires liés à l'environnement.

Car si l'environnement et la santé semblent des notions simples en apparence et qui relèvent du sens commun, comme le suggère le slogan de l'Organisation mondiale de la santé « environnement d'aujourd'hui, santé de demain » cette relation est en réalité des plus complexes. Elle est même devenue aujourd'hui une source majeure d'anxiété dans nos sociétés.

Optimisme ou pessimisme ?

Faut-il penser comme le docteur « Tant-mieux » ou comme le docteur « Tant-pis » ? La santé environnementale se dégrade-t-elle ou bien est-ce qu'on lui accorde plus d'attention ?

Trois types de facteurs constituent des signaux inquiétants : une « épidémie » de nouvelles épidémies ; la multiplication des facteurs de risque ; des évolutions environnementales rapides.

Dans le domaine des maladies transmissibles, plusieurs nouveaux agents ont récemment provoqué des épidémies ou des éclosions de cas. On pense, en premier lieu, au sida mais aussi à la légionellose, aux nouvelles souches de colibacilles comme O157 : H7, au virus Ebola. Des incertitudes fortes demeurent sur le potentiel épidémique des prions, de la grippe du poulet, de bactéries résistantes aux antibiotiques. D'anciens agents bactériens ou parasitaires connaissent un regain d'actualité : la tuberculose (aujourd'hui la principale tueuse à l'échelle du globe), les salmonelloses, la trichinose, la listériose, les cryptosporidies... La bronchiolite du nourrisson, due notamment au

virus respiratoire syncytial, touche désormais plusieurs dizaines de milliers d'enfants chaque année sans que l'on comprenne les raisons de ces spectaculaires flambées.

Les cas d'asthme ont doublé en quinze ans et l'eczéma se rencontre plus fréquemment. Les maladies inflammatoires ou certains cancers comme les lymphomes, les tumeurs du cerveau ou les mésothéliomes, manifestation spécifique d'une exposition à l'amiante, ne cessent de croître.

Jamais l'homme n'a eu une telle capacité de produire autant de nouveaux facteurs pouvant potentiellement altérer la santé. En particulier, chaque année plusieurs milliers de nouvelles substances chimiques sont fabriquées. La charge chimique atmosphérique, hydrique ou alimentaire va croissant.

Certes la pollution atmosphérique urbaine, contrairement à une idée largement répandue, a diminué depuis les années cinquante. Mais si cela est vrai pour les polluants classiquement surveillés (SO_2 , NO_2 , fumées noires, plomb), le nombre de composés organiques volatils, comme le benzène, issus notamment des carburants automobiles, augmente. Et l'on ne sait pas grand-chose des évolutions temporelles de polluants comme les particules ultrafines ou les composés issus des réactions photochimiques, dont l'ozone troposphérique est le chef de file.

La ressource en eau est menacée par l'utilisation extensive des engrais azotés et des pesticides. La lecture des étiquettes d'emballage donne une idée de la complexité de la composition des aliments de consommation courante. L'utilisation des médicaments a explosé et, surtout, la consommation de médicaments sur de longues périodes, pour traiter des maladies chroniques, s'est fortement développée. On ne sait rien des effets indésirables possibles sur le long terme. D'autres menaces se profilent, comme le « bioterrorisme », cette possible menace par des groupes violents de contaminer des ressources en eau, d'empoisonner des chaînes de fabrication d'aliments...

Les conditions et les modes de vie ont connu, dans les sociétés industrialisées, une évolution d'une rapidité sans précédent. Nous vivons désormais quasiment tous en ville, ce qui implique, en termes épidémiologiques, un accroissement du nombre de personnes potentiellement exposées. Des phénomènes de précarisation et d'exclusion

apparaissent, aux conséquences imprévisibles. Le vieillissement général de la population s'accompagne d'une augmentation de nombreux problèmes de santé.

Les modes de production se sont industrialisés. Toute erreur sur la chaîne de production peut avoir des impacts sanitaires à des milliers de kilomètres du lieu de production. Impossible de savoir d'où vient tout ce que nous utilisons, mangeons, buvons dans la vie de tous les jours, ce qui rend à juste titre le consommateur nerveux. Les modes de fabrication des aliments ont connu une véritable révolution, sans même parler de l'introduction des biotechnologies, sources d'inépuisables polémiques.

Les enfants sont socialisés de plus en plus jeunes. Le développement des transports aériens a intensifié les échanges internationaux. Les bâtiments neufs sont de mieux en mieux isolés sous la pression des économies d'énergie et, dans le même temps, de nouveaux matériaux de synthèse entrent dans la composition des meubles, des peintures, des murs et des sols. Nous avons à disposition une multitude de produits de nettoyage ou de bricolage aux compositions chimiques inconnues de l'usager et dont l'utilisation ne peut pas être contrôlée comme en milieu professionnel.

La diminution de la couche d'ozone, l'accroissement de l'effet de serre s'ajoutent à ces évolutions considérables. Selon des hypothèses pessimistes, les conséquences de ces phénomènes pourraient menacer la présence même de l'homme sur la terre.

On ne connaît pas le rôle exact de ces bouleversements sur la survenue des nouvelles maladies ou sur les épidémies. Il est certain que les changements des comportements ont favorisé la dissémination du virus du sida. Il est aussi possible que les brassages de populations ont joué un rôle dans la transmission de ce virus. Cela a été évoqué pour expliquer, par exemple, des agrégats de leucémies autour des sites nucléaires.

Les conditions de vie sur terre se sont plus transformées au cours de ce siècle que depuis le début de l'humanité. Quelle est la capacité des organismes humains à s'adapter à la rapidité de ces changements ? On ne sait pas mais elle est moindre que celle des virus, bactéries et des nombreux insectes qui peuvent les véhiculer.

Les évolutions technologiques ont cependant aussi concerné l'efficacité de la médecine, l'amélioration des contrôles de qualité, les

systèmes de surveillance permettant de détecter les risques de plus en plus tôt. L'épidémie de sida a été détectée aux États-Unis à partir de 19 cas d'immunodéficience acquise ! Et une dizaine de cas a suffi pour comprendre que l'encéphalopathie spongiforme bovine prenait une nouvelle forme clinique.

Les niveaux d'éducation ont monté, permettant une meilleure appréhension par chacun des risques que nos comportements entraînent. Les systèmes de protection sociale se sont développés.

Nous payons le prix de certaines expositions du passé qui ont aujourd'hui notablement diminué. L'augmentation de la fréquence de certaines maladies pourrait résulter d'un effet paradoxal de la médecine qui permet à plus de personnes fragiles de vivre plus longtemps. L'amélioration des outils diagnostiques peut contribuer à donner une fausse impression d'un risque augmenté. Cela pourrait être le cas pour les tumeurs du cerveau, grâce aux progrès considérables de l'imagerie médicale. Même si le tribut qui leur est payé demeure élevé, certains cancers ont spectaculairement régressé, comme celui de l'estomac. Il en est de même des cirrhoses alcooliques. L'espérance de vie continue de croître au rythme d'un trimestre par an, en France comme dans les pays proches, et ce gain concerne tous les âges de la vie.

Alors, qui a raison, le docteur « Tant-mieux » ou le docteur « Tant-pis » ? Impossible de le savoir. La recherche doit encore progresser. Jamais l'homme n'a été aussi vulnérable et jamais il n'a été aussi bien protégé. Difficile donc de dire de quel côté la balance va pencher. Il nous faut seulement apprendre à décider en intégrant le long terme et non plus seulement s'arrêter sur une vision à court terme.

Un champ de crises

Depuis quelques années, c'est au travers de problèmes fortement médiatisés que l'écosanté est revenue sur le devant de la scène : le nuage de dioxine de Seveso (Italie) et celui d'isocyanate de méthyle à Bhopal (Inde) ; celui, radioactif, de Tchernobyl (Ukraine) ; le scandale de Love Canal (États-Unis) ; celui de la décharge de Montchanin (Haute-Saône). Et puis encore la décimation sur toute l'Europe du pyralène des transformateurs électriques ; la présence de benzène dans l'eau de Perrier ; le saturnisme au cœur des vieilles villes ; l'huile

toxique à Madrid ; la pollution atmosphérique urbaine partout dans le monde ; la controverse sur les champs électromagnétiques de basse fréquence ; les nitrates et les pesticides dans l'eau et les aliments ; la baisse de la qualité du sperme attribuée à des substances chimiques pouvant perturber les métabolismes hormonaux ; les leucémies à proximité de l'usine de retraitement de La Hague. Et, bien sûr, l'amiante, qui, avec la transmission transfusionnelle du sida et l'affaire de la vache folle a provoqué un véritable traumatisme social et conduit les pouvoirs publics à transformer profondément le paysage administratif de la sécurité sanitaire.

De cette liste, qui est loin d'être exhaustive, on pourrait conclure que les risques sanitaires liés aux facteurs d'environnement vont croissant. Mais, d'un autre côté, on constate que les réglementations sont de plus en plus contraignantes et les valeurs limites d'exposition de plus en plus sévères. À l'analyse, ces affaires présentent un certain nombre de points communs frappants.

Elles sont mises sur la place publique à la suite d'une dénonciation juridique et/ou médiatique comportant une accusation de négligence et de non-prise en compte des connaissances scientifiques disponibles.

La réaction immédiate habituelle des organisations mises en cause a été d'affirmer que l'inquiétude n'était pas justifiée, que l'émoi était irrationnel, que les risques étaient limités et que les mesures nécessaires avaient été prises.

Mais il existait, en fait, des incertitudes scientifiques mettant en porte-à-faux les discours rassurants qui perdaient ainsi de leur crédibilité.

Les observateurs s'apercevaient vite que des signaux faibles précurseurs ou annonciateurs de la crise n'avaient pas été pris en compte par les responsables.

L'expertise a été difficile à organiser de façon crédible.

Ainsi, tout concourt à faire accroire que la santé semble sacrifiée sur l'autel des intérêts économiques ou catégoriels. Le résultat est patent. La crédibilité des services en charge de la protection sanitaire s'effondre et la méfiance des citoyens envers les autorités et les experts augmente. Or, sans confiance, la gestion de ce genre d'affaires conduit inévitablement à de fortes déstabilisations sociales. Dans un

domaine aussi complexe que la relation entre l'environnement et la santé, souvent marqué par de nombreuses incertitudes, une gestion sereine nécessite la confiance sociale. Il nous faut donc comprendre les raisons d'une telle discordance entre les pratiques de gestion des risques et les attentes de la population.

Il est fréquent, dans les milieux scientifiques, médicaux et techniques, d'entendre des discours sur l'incompétence, l'incohérence et l'irrationalité de la population. Alors que les grands dangers sanitaires sont ceux provoqués par le tabac, les accidents de la circulation, les méfaits d'une consommation excessive d'alcool et de médicaments, nos concitoyens semblent s'émouvoir pour des chimères, des faux problèmes, des risques dérisoires comparés à ceux que nos comportements individuels nous font prendre dans la vie quotidienne.

Il n'est pas évident de comprendre pourquoi l'importance de l'émoi dans la population ne semble pas proportionnelle à l'ampleur des risques. Ce qui fait peur, c'est moins l'ampleur du risque que l'incertitude sur l'existence d'un risque invisible et indécélable par tout un chacun. Dès lors, il ne sert à rien et il est même contre-productif de vouloir tout faire pour rassurer. Si les scientifiques ne peuvent pas se prononcer formellement, il est d'une certaine façon normal que la population s'inquiète. Si les autorités disent que cette inquiétude n'est pas fondée et qu'en même temps les incertitudes sont patentes, c'est la confiance qui est ébranlée. La rationalité de l'opinion n'est pas de type scientifique. Mais est-elle irrationnelle pour autant ?

L'incertitude est véritablement un dénominateur commun à ces questions de santé environnementale. Apprendre à décider malgré le doute devient une nécessité urgente. Comprendre et faire accepter que les connaissances scientifiques évoluent sans cesse et que l'on est condamné à agir et décider à tout moment dans un état imparfait des connaissances impose une sorte de révolution culturelle, tant dans les milieux des « décideurs » (politiques et économiques) que dans la société dans son ensemble. Car dans la gestion de situations incertaines, la confiance est un paramètre clé sans lequel le décideur est paralysé. Il peut alors être conduit à surdimensionner sa réponse pour démontrer qu'il prend ses responsabilités. Le coût social, humain, politique, diplomatique et économique d'un tel enchaînement a atteint, avec l'affaire de la vache folle, une dimension encore inconnue.

Dans la tradition française, les pouvoirs publics édictent des normes assorties de procédures de surveillance et de contrôle. Ils ne se donnent jamais d'objectifs formulés en termes d'état de santé. Certes, la notion de « normes » conserve son utilité comme guide de pratique. Mais si elle constitue la seule règle du jeu, elle n'est qu'une ligne Maginot. D'une part, parce qu'il est souvent difficile de proposer des normes ayant un bien-fondé sanitaire lorsqu'il existe d'importantes incertitudes scientifiques (c'est le cas des champs électromagnétiques de basse fréquence, par exemple). D'autre part, parce que de nombreux toxiques, y compris des toxiques systémiques comme le plomb, semblent agir sans seuil de toxicité, dans une population extraordinairement composite. Cela induit un déplacement de la responsabilité de la protection sanitaire du scientifique vers le politique. Le principe de précaution témoigne précisément d'une évolution des rapports entre science et décision.

Un changement d'attitude face au risque

Les crises récentes ont démontré que les citoyens avaient une perception accrue des risques que leur font courir leurs milieux de vie, les sources d'énergie et les conditions actuelles de production industrielle de biens de consommation. Le développement des moyens modernes de communication explique cette nouvelle capacité du public à appréhender l'émergence de risques nouveaux (il s'agit souvent d'hypothèses) avant que les recherches scientifiques n'aient pu faire toute la lumière. D'ailleurs, le pourront-elles un jour, tant l'expérience enseigne que les « certitudes scientifiques » du moment peuvent être remises en cause le lendemain ? L'opinion publique demande alors aux décideurs politiques de prendre des mesures pour supprimer le risque perçu ou tout au moins le limiter à un niveau « acceptable ».

Les responsables ne sont plus à l'abri de sanctions pénales si une absence de décision de leur part a eu des conséquences pour la santé qui auraient pu être évitées. Décider de prendre des mesures sans attendre toutes les connaissances scientifiques nécessaires relève d'une nouvelle approche fondée sur le principe de précaution qui marque un engagement de responsabilités pour des décideurs soucieux du bien-être. C'est un principe politique de gestion prudente des risques qui s'exerce dans des conditions d'incertitude scien-

tifique. Comme le souligne un document récent de l'ex-Direction générale XXIV (Santé publique et protection du consommateur) de la Commission européenne

« [...] entre le principe d'interdire (ou ne pas autoriser) un produit ou un procédé tant que la science n'a pas prouvé son entière innocuité et le principe de ne pas interdire (ou d'autoriser) ce produit ou ce procédé tant que la science n'a pas démontré qu'il y a un risque réel, il y a un grand espace pour l'application d'un principe de précaution raisonné. »

Le concept du principe de précaution a été développé et juridiquement établi dans le domaine de la protection de l'environnement. Il est né dans le cadre de conventions internationales. Il a été clairement défini en 1992 lors du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro. La Convention sur le changement climatique prévoit à son article 3 des dispositions analogues. Le traité d'Amsterdam a modifié les articles 100a et 130R du traité de l'Union européenne et y fait explicitement référence. La loi de février 1995 relative à la protection de l'environnement (dite loi Barnier) est le texte français fondant juridiquement le principe de précaution en France :

« L'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable. »

Par extension, cette acception du principe tend à s'appliquer au domaine de la santé. L'arrêt de la Cour européenne de Justice sur la décision de la Commission interdisant l'exportation de bœuf du Royaume-Uni pour limiter le risque de transmission de la maladie de la vache folle va dans ce sens :

« Compte tenu de la gravité du risque et de l'urgence de la situation, et eu égard à l'objectif de la décision, la Commission n'a pas agi de manière manifestement inappropriée en prenant la décision, sur une base temporaire et dans l'attente de la production d'informations scientifiques plus détaillées. »

On notera enfin la communication de la Commission du 30 avril 1997 sur la santé des consommateurs et la sécurité des aliments qui énonce que :

« La Commission sera guidée dans son analyse du risque par le principe de précaution dans les situations où les bases scientifiques sont insuffisantes et où une incertitude existe. »

Ce droit et sa mise en œuvre sont encore loin d'être stabilisés. L'invocation du principe de précaution par différents acteurs traduit des lectures parfaitement opposées. Les débats sur la décision du Conseil d'État relatifs à la suspension de la commercialisation du maïs transgénique Novartis ou concernant la reprise de l'importation du bœuf britannique l'illustrent bien. Pour certains, ce principe oblige à surseoir à toute décision si l'on n'a pas l'assurance absolue de l'innocuité totale d'un produit ou d'une action. Cette lecture s'adosse au dicton bien connu : « Dans le doute, abstiens-toi. » C'est un principe d'abstention systématique dès lors qu'il y a incertitude sur la nature ou l'ampleur d'un danger, la charge de la preuve (de l'innocuité) revenant à celui qui souhaite conduire l'action ou développer le procédé en question. On retrouve derrière cette position les tenants des « moratoires » (sur les OGM, les incinérateurs...). Pour nous, le principe de précaution n'exige pas nécessairement que la preuve soit apportée de l'innocuité du procédé ou du produit, pas plus que n'est exigée l'évidence du danger pour adopter une attitude prudente. Cela traduirait une foi positiviste inébranlable (et aujourd'hui anachronique) en la science qui apporterait toujours et sans ambiguïté les réponses aux questions posées par l'activité de l'Homme. Dès lors, c'est la prise en compte, en situation d'incertitude, de la balance des risques et des avantages réels et supposés, qui doit guider la décision. L'abstention n'est que l'une des décisions possibles, qui peut être fondée dans certaines situations et pas dans d'autres. Encore faut-il alors qu'elle soit prise pour une durée fixée, et révisable selon le développement des connaissances, sauf à stériliser toute idée d'innovation. Une autre attitude prudente peut être, parfois, d'autoriser ce nouveau procédé, tout en fixant des règles de nature à réduire les risques, s'ils s'avéraient – plus tard – réels, de surveiller avec soin les conditions de sa mise en œuvre, et de poursuivre la recherche afin de contribuer à lever les incertitudes.

On voit ainsi que le principe de précaution implique une certaine prise de distance par rapport à la notion de « preuve scientifique » comme principe de décision. Il ne s'agit pas, évidemment de nier l'impérieuse nécessité du savoir pour agir, mais de reconnaître que dans maintes situations, cela ne suffit pas. Mais alors quels repères prendre ?

• À la recherche du risque acceptable

On assiste ainsi à un nouveau et profond déplacement du débat. L'idée que plus on va nier l'existence d'un risque et plus on va renforcer la croyance en son existence est désormais banale, éprouvée par l'expérience des crises récentes. Mais beaucoup s'alarment de ce qu'ils pensent être une exigence sociale de risque nul. Ces mêmes voix rappellent que le risque fait partie de la vie, que sans risque, le progrès est condamné et que nos sociétés connaissent un niveau de sécurité jamais atteint dans l'histoire. D'où des appels réitérés à la raison.

Si une part de risque reste inévitable, si même des faibles doses peuvent provoquer des manifestations morbides chez certaines personnes fragiles, alors il faut en effet poser la question du niveau de risque tolérable. Cette discussion grave et fondamentale reste encore pour l'essentiel de nature technocratique. Jusqu'à présent, elle s'est réduite à la fixation par les autorités d'un niveau de risque de *minimis* que l'on transpose par calcul en valeurs d'exposition à ne pas dépasser au cours d'une vie. Cette approche s'est généralisée aux États-Unis, avec la définition par l'agence US-EPA de l'intervalle de risque entre une « chance » sur une vie entière de subir les conséquences sur 10 000 (et il faut donc agir pour éviter le risque) et une sur 10 000 000 (le risque ne vaut pas la peine qu'on s'en préoccupe)¹ comme critère de gestion. Elle se répand dans de nombreux espaces de décision sur l'environnement et la santé publique en Europe². Or

1. En dessous d'un excès de risque de décès de 10^{-6} calculé sur une vie entière, le problème qui en est à l'origine ne mérite pas qu'on s'en préoccupe ; au-delà de 10^{-4} , ce risque est jugé inacceptable ; entre les deux, la décision se prend au cas par cas.

2. Comme par exemple dans la circulaire de la ministre de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement sur la réhabilitation des sols pollués, du 10 décembre 1999. L'objectif annoncé est de réduire le risque en deçà de 10^{-5} .

si ces valeurs sont utiles pour éclairer le débat et donner des repères pour une comparaison des différentes situations de risque, l'idée qu'il puisse un jour exister un seuil universel de risque accepté socialement est, en fait, vouée à l'échec.

Car, en réalité, ce qui est acceptable ou non, n'est pas tant le niveau de risque, mais le processus décisionnel aboutissant au choix d'une option de gestion du risque dans une situation particulière. C'est en ce sens qu'on peut dire qu'un risque accepté est un risque quantifié. Essentiellement parce que la démarche d'évaluation quantitative des risques force à passer en revue l'ensemble des connaissances disponibles, ce qui est en soi un facteur de confiance. Mais aussi parce qu'en bornant l'incertitude, l'évaluation des risques contribue à maîtriser l'incertitude qui est un facteur premier de l'inquiétude.

Pendant, c'est moins le résultat chiffré de l'évaluation des risques qui compte que la transparence de son processus. Imagine-t-on que les riverains d'un futur incinérateur se satisfassent sans discuter d'un arrêté préfectoral annonçant la décision de construire l'installation parce que « le risque de cancer induit est inférieur à 1 pour 100 000 » ? On peut en douter. La procédure de débat public doit aller beaucoup plus loin que l'affichage, en bout de course, de la valeur du risque, aussi faible soit-elle.

D'abord du point de vue de l'analyse des faits scientifiques eux-mêmes. En rendant plus lisibles les données scientifiques, en faisant en sorte que ce ne soit pas la dernière étude publiée qui ait systématiquement raison, l'évaluation des risques force les décideurs à devoir expliciter à leur tour leurs critères de gestion. En second lieu, et sans doute surtout, l'usage qui est fait de ces données scientifiques et des autres dimensions du problème commande la manière dont on répond aux préoccupations des personnes susceptibles d'être exposées à ce risque faible mais non nul, combinées à la prise en compte des avantages directs ou indirects de cette situation de risque nouveau créé (réduction d'une autre nuisance, création d'emplois et de richesse...). Ces délicats arbitrages et l'indispensable transparence et démocratie qui doivent les gouverner sont au cœur de la notion de « risque acceptable », comme l'ont souligné les débats citoyens conduits en 1999 lors des États généraux de la santé sur le thème de la santé et du cadre de vie. L'acceptabilité est donc un processus social, donc politique, ce

n'est pas (seulement) un objectif quantifié déterminable à l'avance. Comprendre cela est d'autant plus important que les actions de réduction des risques dans un secteur s'accompagnent presque inévitablement de leur accroissement dans d'autres secteurs.

L'évaluation des risques sanitaires : un art difficile

Si les épidémiologistes affirment l'existence d'un lien fort entre l'environnement et la santé, ils se heurtent à des difficultés pour le quantifier. La tendance naturelle est d'imputer la survenue d'une maladie à une cause unique, alors que l'épidémiologie souligne les causes multiples des maladies. Un germe ne suffit pas à provoquer l'infection. L'asthme est une maladie à composante génétique dont les crises sont déclenchées par des facteurs biochimiques, psychologiques ou environnementaux, etc. Nous sommes passés du déterminisme (une cause entraîne nécessairement un effet) au probabilisme (un faisceau de facteurs augmente la probabilité que survienne une maladie).

L'affirmation d'une relation forte entre l'environnement et la santé pourrait, logiquement, se traduire par la mise en relation d'indicateurs reflétant la qualité de l'environnement avec ceux mesurant l'état de santé d'une population. Idéalement, on souhaiterait pouvoir disposer soit d'un indicateur global de la qualité de l'environnement constituant un bon prédicateur de l'état de santé, soit d'un indicateur de santé qui soit le reflet fidèle de la qualité globale des milieux auxquels l'homme est exposé. Mais la réalité est beaucoup plus complexe.

Si l'environnement est un déterminant important de l'état de santé, ce n'est pas non plus le seul. L'état de santé a des causes multiples, tout comme la qualité de l'environnement. Des déterminants biologiques et génétiques, les comportements et les modes de vie, les attitudes vis-à-vis du risque et de la santé, les facteurs sociaux et économiques, la performance des soins médicaux produisent leur influence. Il est difficile de faire la part respective de ces différents facteurs car ils sont souvent étroitement intriqués.

Pour étudier le rôle pathogène possible des facteurs d'environnement, trois grandes approches méthodologiques sont disponibles. La toxicologie utilise des modèles animaux ou tissulaires qui sont exposés au laboratoire à des quantités connues de polluants. Cette approche

toxicologique permet de conclure à une relation de cause à effet et elle a fourni de nombreux résultats. Mais elle se heurte à deux grandes difficultés. Il est difficile de reproduire au laboratoire des conditions d'exposition identiques à celles réellement rencontrées chez l'homme. Il n'est pas toujours possible d'extrapoler les résultats d'une espèce à une autre ou d'un système biologique à un autre.

Avec l'expérimentation humaine contrôlée, se pose à nouveau la question de la représentativité des conditions d'exposition. Avec en plus, le problème éthique évident que poserait l'utilisation d'un cobaye humain.

La troisième approche est l'épidémiologie qui observe l'homme dans ses conditions de vie réelles. Cela lui confère une grande pertinence en termes de prévention. Mais, dans le cadre d'une science d'observation, l'affirmation d'une relation de nature causale demande beaucoup de précautions en raison des nombreux biais qui peuvent fausser les résultats (voir p. 243). De fait, il existe de nombreux obstacles pour l'identification et la quantification des liens environnement-santé dans le contexte actuel des pays industrialisés.

L'efficacité des mesures de prévention et de contrôle dans les pays industrialisés ont fait régresser (en dehors des situations accidentelles) les problèmes de toxicité aiguë liés à des expositions à de fortes doses de contaminants. Or, la toxicité à long terme, liée à de faibles doses, répétées dans le temps, est plus difficile à mesurer. L'intensité des effets est faible et l'exposition est difficile à estimer. Les manifestations pathologiques, rarement spécifiques à un agent donné, apparaissent après un temps de latence qui peut atteindre plusieurs dizaines d'années, comme dans le cas de l'amiante, ce qui complique la réalisation et l'interprétation des études épidémiologiques.

Il existe une grande variabilité dans l'espace et dans le temps de l'exposition aux facteurs d'environnement. Les individus ne sont pas exposés de la même façon aux différents polluants des milieux avec lesquels l'homme peut entrer en contact.

Chaque individu n'a pas la même résistance aux agressions de l'environnement. Si la proportion de personnes susceptibles ou vulnérables est trop faible, le risque sera dilué et difficile à détecter.

Il ne faut pas confondre les notions de contamination, d'exposition et de dose. La contamination concerne la qualité des différents

milieux. Mais un milieu très dégradé ne constitue pas nécessairement une menace pour l'homme. S'il n'existe pas de possibilité de contact entre l'homme et ce milieu, on a sans doute un problème écologique à résoudre, mais pas un problème de santé publique. Ce qui compte, c'est la quantité de polluant qui est apporté à l'intérieur du corps humain sur les organes cibles susceptibles de voir leur fonctionnement altéré. Or, cette dose est très difficile à évaluer.

L'amélioration générale de l'état de santé s'est traduite par un allongement de la durée de vie. De nombreuses personnes sont porteuses de maladies ou de déficiences multiples qui ne sont plus mortelles aujourd'hui. Cela rend encore plus difficile la mise en évidence d'un impact spécifique de l'environnement. Par ailleurs, le concept de santé n'est pas figé. La maladie n'en est qu'un des aspects car, l'aspiration au bien-être est générale. Les indicateurs classiques de mortalité et de morbidité sont insuffisants pour caractériser entièrement la santé sous ses différents aspects, notamment ses aspects positifs. Malgré des avancées récentes, il reste difficile de mesurer en routine le niveau de stress ou la qualité de vie.

Les humains sont exposés à une multitude de substances présentes dans l'air, l'eau, les sols et les aliments. Elles pénètrent dans l'organisme à travers de nombreuses portes d'entrée : pulmonaires, digestives, cutanées, etc. Il est donc nécessaire de pouvoir disposer d'une vision globale des expositions quelle que soit leur source pour guider les politiques publiques dans le domaine de la santé et de l'environnement. Or, si l'on a bien compris, désormais, l'intérêt d'avoir des registres de morbidité, il n'en est pas encore de même pour les registres d'exposition. Un risque individuel, même très faible, devient non négligeable si des millions de personnes y sont soumises. C'est le cas, par exemple, pour la pollution atmosphérique. Ainsi, l'analyse des relations entre l'environnement et la santé passe obligatoirement par une meilleure connaissance des expositions dans la population.

Des systèmes d'information à organiser

Lorsqu'il existe des relations de cause à effet entre un facteur d'environnement bien identifié, facilement mesurable et une maladie spécifique et qu'il existe de surcroît une relation entre la dose et l'effet,

il est alors possible et même préférable de surveiller les risques sanitaires en s'appuyant sur le suivi des paramètres de qualité du milieu. Il ne serait pas raisonnable de surveiller la potabilité de l'eau au travers du risque de gastro-entérite. Il est préférable d'agir en amont, d'exercer un monitoring étroit de la qualité des eaux distribuées, la surveillance épidémiologique n'ayant pour objectif que de détecter les éventuelles défaillances. C'est le même raisonnement qui s'applique pour la radioactivité ou l'amiante.

Mais ces conditions ne sont pas toujours réunies. Ainsi, pour l'air, l'effet propre de chacun des polluants reste à préciser. Les maladies respiratoires ou cardiaques provoquées par cette pollution n'en sont pas spécifiques. Elles sont multifactorielles. La relation dose-effet reste mal connue. Entre les teneurs en polluants mesurées dans l'air par les stations fixes des réseaux de mesure et les niveaux réels d'exposition de l'homme, il peut y avoir de grandes différences dues, notamment, au temps effectivement passé à l'extérieur des locaux. Il est donc nécessaire de coupler la surveillance du milieu et celle de la santé. On ne peut pas se fier totalement aux résultats des mesures faites dans le milieu pour en déduire avec un degré raisonnable de certitude l'impact sur la santé de l'homme.

Ce couplage entre les systèmes d'informations sanitaires et environnementales n'est pas aisé à concrétiser. La logique qui préside à la conception de ces systèmes n'est pas uniforme et ce sont rarement des considérations de santé publique qui la dictent. Les réseaux de surveillance de la qualité de l'air avaient plus pour but d'identifier la responsabilité respective des différents pollueurs que de fournir une estimation représentative des niveaux d'exposition humaine. Les procédures d'audit des sols industriels sont plus destinées à évaluer les zones les plus polluées qu'à informer sur la distribution des polluants dans ce sol. La pertinence sanitaire des informations ainsi recueillies n'est donc pas immédiate.

Au travers des données produites par la médecine de ville, par l'hôpital ou par les différents régimes d'assurance maladie, les systèmes d'informations sanitaires n'ont pas non plus de finalité épidémiologique. Ils ont plutôt été conçus pour les suivis budgétaires.

Ultime difficulté : de très nombreuses tutelles publiques sont impliquées dans la gestion des problèmes d'environnement et de

santé. Sécurité alimentaire, hydrique, industrielle, nucléaire, routière, pollution atmosphérique, déchets, rayonnements sont organisés, au sein des différentes administrations selon des critères et des principes différents.

Pour arriver à faire « parler » ces systèmes d'information en termes de santé environnementale, il faut faire collaborer entre eux les divers spécialistes (chimistes, physiciens, toxicologues, épidémiologistes, microbiologistes, etc.) concernés.

• Les nouvelles approches de l'évaluation des risques

On se préoccupe désormais des dangers chroniques liés à l'exposition répétée à de faibles doses de polluants comme le benzène, l'amiante, les radiations ionisantes, etc. En 50 ans de recherche, il n'a été possible d'obtenir des certitudes scientifiques que pour quelques dizaines de polluants. Or, pour s'en tenir au risque chimique, il y a 70 000 substances commercialisées et chaque année, 1 000 substances nouvelles sont mises sur le marché. L'étude toxicologique ou épidémiologique de ces produits est impossible pour des questions de temps et d'argent. Seuls sont possibles des tests de dépistage (*screening*) de la dangerosité des substances chimiques, fondées essentiellement sur des tests à court terme (voir aussi annexe, p. 259).

On se trouve donc face à une grande incertitude scientifique, alors même que cette incertitude est devenue un motif majeur d'inquiétude sociale. C'est dans ce contexte que s'est développée une approche visant à mieux intégrer des connaissances scientifiques éclatées et lacunaires, en vue d'éclairer la décision. Depuis une vingtaine d'années, l'approche de l'évaluation des risques (*risk assessment*) s'applique ainsi à faire la synthèse des connaissances sur les risques sanitaires et, à traduire ces connaissances pour les processus de prise de décision, c'est-à-dire la gestion des risques (*risk management*).

Cette approche tient compte des incertitudes scientifiques en leur substituant une série d'hypothèses formulées explicitement, donc réfutables et sujettes à débat. On peut alors réaliser des simulations et envisager différents scénarios. Ainsi, la connaissance de l'exposition de l'homme aux différents polluants provient en général d'expériences ou d'observations comportant de fortes concentrations

de substances. Mais quels sont les effets aux faibles concentrations ? Le fait de ne pas pouvoir mettre de tels effets en évidence ne signifie pas qu'ils n'existent pas. La petite taille des populations étudiées peut masquer un effet pourtant réel. L'évaluation des risques fournit des règles permettant d'extrapoler des fortes aux faibles doses, d'une voie d'exposition à une autre, de l'animal à l'homme, d'une substance à toute la famille chimique correspondante, d'une période de temps courte à une période longue, etc.

Le processus d'évaluation des risques permet ainsi de mieux faire le lien entre les sciences de l'environnement et les impératifs de la santé publique. Cette évaluation contribue à rendre transparents et perfectibles des choix qui ne peuvent plus être refusés au nom de l'incertitude scientifique. Il est important de mesurer les risques pour mieux les gérer dans un contexte de multiplication des facteurs de risque et de coût élevé des actions de dépollution. Les progrès des méthodes analytiques permettent de détecter des polluants ou agents nocifs des différents milieux à des niveaux de plus en plus faibles. Dans ces conditions, tout est pollué et le risque nul n'existe pas. Aussi, le débat n'est plus (l'a-t-il jamais été en réalité ?) entre existence ou absence de risques ; mais sur son niveau, sa justification et l'équité de sa distribution. Le débat sur le risque suppose donc avant tout la transparence et cohérence.

Le principe de transparence postule que les faits scientifiques sur lesquels s'appuient les recommandations ou les décisions soient débattus et validés, ce qui suppose qu'ils soient passés au crible d'une démarche critique par les pairs. La distinction entre les faits et les convictions doit être faite. Il faut savoir résister à la tentation d'accepter comme acquis tout propos, même émanant d'un scientifique éminent, s'il n'a pas fait au préalable l'objet d'une confrontation entre « pairs ». Les médias connaissent ces pièges. Parfois, ils s'en servent.

Le principe de cohérence implique, lui, que les règles d'interprétation des résultats scientifiques soient systématisées. Les critères scientifiques qui fondent les décisions doivent être explicites et relativement constants d'un secteur à l'autre. La cohérence consiste aussi à vérifier que la démarche prend en compte toutes les sources d'exposition et tous les types d'effets potentiels.

L'évaluation des risques permet de quantifier le risque correspondant à une exposition donnée. Ce processus établit un lien entre

les sciences de l'environnement et les impératifs de la santé publique. Le médecin centre son attention sur ses patients et s'interroge pour savoir s'ils ont été exposés à un facteur qui a pu les rendre malades. Il ne sait rien, en règle générale, des personnes qui ne l'ont pas consulté. L'ingénieur, lui, s'intéresse principalement à la qualité des milieux. Il veille à ce que les contaminations éventuelles ne soient pas excessives. L'évaluation des risques se situe précisément à l'interface de ces deux points de vue. Il s'agit alors de savoir quelle est la hauteur du risque qui correspond à un niveau de pollution donné.

Une telle démarche est récente et laisse subsister des incertitudes parfois considérables. Elle ne se substitue pas à la recherche scientifique dans les disciplines de base de la santé publique, mais au contraire n'a de sens que si ces sciences de base lui fournissent des données pertinentes et valides. Elle permet d'apprécier l'importance du rôle d'une exposition et dès lors de discuter la pertinence des investissements préventifs ou curatifs. Elle rend lisibles les faits sanitaires et facilite la discussion sur les priorités de santé publique. Elle contribue à rendre transparents et perfectibles des arbitrages alors même que les choix arbitraires sont de moins en moins bien admis par l'opinion.

L'évaluation des risques fait la synthèse des connaissances scientifiques disponibles et quantifie des expositions et des risques liés à une substance, un agent, une situation, une installation ou un projet. Elle guide les décisions de protection sanitaire dans une situation d'incertitude. Cette évaluation scientifique et la synthèse des connaissances disponibles débouchent sur un bilan des connaissances des propriétés toxiques d'une substance ou d'un agent. Elle confronte les savoirs issus de champs disciplinaires nombreux, notamment l'épidémiologie et la toxicologie.

Évaluer un risque suppose de prédire (estimer) le nombre de cas d'une maladie qui surviendront en relation avec un niveau d'exposition. La démarche générale d'évaluation des risques se déroule donc en étapes successives consistant à identifier le danger, extrapoler – s'il y a lieu – le risque observé des hautes aux faibles doses, estimer l'exposition de la population concernée et caractériser le risque, enfin en évaluer l'ampleur pour permettre que la décision sur une éventuelle action de prévention ou de réparation puisse être prise avec les meilleures informations du moment.

À chaque étape, il s'agit de passer en revue de façon critique les connaissances scientifiques disponibles, et d'apprécier leur qualité. En règle générale, une seule étude (ou quelques études), même bien faite, ne suffit pas à éclairer l'ensemble d'un dossier.

Cette démarche sert de base scientifique à la gestion des risques et à la réglementation dans les pays d'Europe du Nord et d'Amérique du Nord, notamment pour les produits cancérigènes. À défaut de fournir des certitudes scientifiques, elle permet d'introduire une certaine cohérence dans les processus décisionnels.

En même temps que le risque est devenu un phénomène social, il est devenu quantifiable. Cette quantification peut-elle servir de base à la gestion ? Les pays anglo-saxons se sont résolument engagés dans cette voie. En France, les approches probabilistes et sanitaires ne sont pas encore complètement intégrées dans les processus décisionnels. Mais il est certain que cette démarche se développera rapidement comme mode de raisonnement en santé environnementale.

TABLEAU 1. — RÉSUMÉ DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES DÉMARCHES DE RECHERCHE, D'ÉVALUATION DES RISQUES ET DE GESTION DES RISQUES

Recherche	Évaluation des risques		Gestion des risques
Toxicologie Épidémiologie Biologie Physique	Identification des dangers	Caractérisation des risques – quantitative – qualitative	Appréciation des impacts sanitaires, économiques, sociaux
Modélisation de la relation dose-effet	Extrapolation des fortes aux faibles doses		Analyse des options d'intervention
Méthodes d'estimation des expositions	Estimation des niveaux d'exposition		Décision

Si l'évaluation et la gestion des risques sont donc des activités intimement liées, il est cependant important de bien distinguer les deux démarches et même d'organiser leur indépendance, comme on le verra plus loin. La gestion des risques consiste à choisir parmi les

différentes options possibles en tenant compte des risques et des bénéfices liés aux activités polluantes. Elle s'appuie sur l'art du possible et sur une fonction d'arbitrage entre les différents intérêts en présence. Il est donc important que l'évaluation des risques soit réalisée à l'abri des contraintes de leur gestion. Sans quoi le résultat risque d'être biaisé et non crédible.

Des voies pour progresser

Pour gérer efficacement les risques sanitaires liés aux facteurs d'environnement, un cadre global et cohérent est nécessaire. Or, les règles utilisées pour évaluer et gérer les risques sanitaires varient selon la nature des polluants (chimiques, physiques ou microbiologiques), le type de produit (aliments, matériaux de construction, etc.), et de milieux pollués (air, eau sol), les filières de production concernées (chimie, nucléaire, agroalimentaire, etc.), ainsi que selon les voies d'exposition par lesquelles l'homme est mis en contact avec les différents polluants (aérienne, digestive, cutanée).

Un cadre cohérent est pourtant nécessaire pour que soient correctement appliqués les principes de prévention et de précaution. Un excès de timidité pourrait stériliser le progrès tout comme un trop grand laxisme. Mais cette vision globale fait souvent défaut. Les risques sont fréquemment traités au fur et à mesure qu'ils sont révélés par les médias, ou uniquement en fonction des outils disponibles pour les maîtriser, sans vision d'ensemble. Certains risques importants sont négligés (c'est le cas du saturnisme infantile au cœur des vieilles villes ou du radon dans certaines régions), tandis que d'autres, pourtant moins cruciaux, font l'objet d'une grande attention, comme par exemple les niveaux de plomb dans l'eau potable.

Cette gestion incohérente des ressources porte préjudice à la santé des populations qui n'est pas protégée au mieux des connaissances et des moyens disponibles, et aux acteurs économiques qui ne peuvent pas introduire dans leurs comptes les coûts de gestion des risques. Les gestionnaires industriels y perdent des crédits, les responsables politiques et administratifs du crédit.

La gestion des problèmes de santé et d'environnement relève habituellement des responsabilités de plusieurs départements ministériels. Ainsi, en matière de santé et d'agriculture, de santé et d'industrie, ou de

santé et d'habitat, il existe de nombreux domaines à cheval sur plusieurs ministères. Disposer de principes de gestion et de règles de fonctionnement communes à tous les niveaux de l'administration permettrait aux politiques publiques de gagner en efficacité et en lisibilité.

Un besoin de règles cohérentes

La gestion des risques sanitaires doit être cohérente, globale et stratégique. Pour ce faire, dix principes fondamentaux peuvent être proposés.

PRINCIPE 1 : transparence démocratique. Les processus d'évaluation des risques et les grandes règles guidant les décisions publiques doivent être clairs et explicites pour tous les acteurs (y compris le citoyen) de façon à éviter des controverses inutiles et permettre aux entreprises de les anticiper le plus en amont possible.

PRINCIPE 2 : globalité. Les risques sanitaires doivent être gérés en intégrant toutes les sources et voies d'exposition au risque, en prenant en compte le court et le long terme, tous les milieux et toutes les filières. Cette gestion globale est indispensable pour éviter les transferts de risques. Cette gestion doit pouvoir s'appliquer de façon universelle à tous les segments de la population qu'il s'agisse des enfants, des femmes enceintes, des travailleurs, etc. Pour éviter de ne gérer que des risques médiatisés et assurer cette cohérence globale, il est nécessaire de hiérarchiser les problèmes à résoudre et de fixer un calendrier d'objectifs réaliste.

PRINCIPE 3 : rationalité. La gestion des risques doit être fondée sur des preuves et des éléments scientifiques. Les connaissances disponibles doivent être rassemblées, interprétées, diffusées et analysées selon des procédures explicites. En cas d'incertitudes fortes, des recherches doivent être financées pour améliorer les connaissances.

PRINCIPE 4 : prévention et précaution. La gestion des risques ne doit pas seulement permettre de gérer préventivement les facteurs de risque dont le rôle est bien connu au plan médical. Elle doit également tenir compte des impacts incertains qui, s'ils restent hypothétiques à ce jour, sont néanmoins susceptibles de menacer la santé des populations, aujourd'hui (mais on n'en est pas sûr), ou demain (les prévisions sont bien délicates).

PRINCIPE 5 : efficience. La gestion des risques doit permettre une utilisation optimale des ressources financières, humaines et administratives, c'est-à-dire prévoir une allocation des ressources qui soit proportionnelle au niveau de risque encouru. Les politiques de gestion des risques sanitaires doivent être évaluées périodiquement de sorte que les moyens engagés restent à la hauteur des problèmes à résoudre. Des objectifs quantifiés doivent être annoncés. Ces objectifs doivent intégrer la gravité des dangers, les niveaux de risques en relation avec l'importance réelle de l'exposition des populations aux polluants, ainsi que la fréquence de cette exposition.

PRINCIPE 6 : territorialisation. Des ressources d'expertise et des procédures de débat public doivent être instaurées au niveau territorial pertinent pour permettre des décisions éclairées. L'unité de territoire pertinente est fonction de la démographie, de l'urbanisation, de la géographie et des traditions administratives.

PRINCIPE 7 : éthique. Si l'évaluation des risques n'est pas une science exacte, leur gestion n'est tout simplement pas une science, mais un « art ». Il doit respecter les valeurs et les préférences des acteurs concernés, tout particulièrement en situation d'incertitudes. Il doit s'appuyer sur une information claire et loyale permettant des mécanismes de participation et de consultation des acteurs concernés, notamment pour fixer les priorités et les objectifs à atteindre. Les acteurs et responsabilités en matière d'analyse des risques doivent être clairement distingués de ceux en charge de la gestion des risques. Il ne suffit pas que des outils techniques soient disponibles pour qu'ils soient utilisés à bon escient et qu'ils soient applicables sur le terrain. La faisabilité économique, industrielle, juridique et culturelle de leur mise en application doit être soigneusement appréciée dans le cadre de la définition d'une stratégie d'intervention.

PRINCIPE 8 : pluralité de l'expertise. Les connaissances scientifiques disponibles pour évaluer ou gérer les risques selon le principe de rationalité doivent être mobilisées par un processus d'expertise compétent, spécialisé et pluraliste. Il convient de s'assurer que toutes les opinions, toutes les écoles de pensée, ont été prises en compte, même si elles sont marginales. Sans une expertise crédible, parce que contradictoire, la population et les acteurs économiques ne pourront pas adhérer aux mesures préconisées, ce qui peut

produire des crises d'une ampleur décalée par rapport à l'importance réelle des problèmes.

PRINCIPE 9 : responsabilité. Des dispositions doivent être prises pour que les producteurs de risque aient une gestion responsable et prudente des problèmes qu'ils sont susceptibles de créer. Il revient aux États de s'assurer que la population dispose d'interlocuteurs responsables vis-à-vis de sa santé. Lorsque des individus s'inquiètent des risques possibles pour eux-mêmes et leur famille en relation avec leur environnement domestique ou professionnel, le voisinage d'installations industrielles ou d'équipements collectifs ou les produits qu'ils consomment, il est important qu'il existe une instance responsable auprès de laquelle ils pourront obtenir une information objective sur la réalité de ces craintes et les mesures adoptées par les pouvoirs publics pour y répondre.

PRINCIPE 10 : harmonisation. La mondialisation de l'économie doit s'accompagner d'une harmonisation internationale des règles de gestion pour éviter des distorsions de concurrence susceptibles de produire des transferts massifs des risques d'un pays vers les autres. C'est pourquoi la gestion des risques doit aussi se concevoir dans un environnement international, notamment européen.

Un tel système de gestion ne réglerait pas tous les problèmes. Mais il faciliterait sans aucun doute une maîtrise des risques et surtout il offrirait un cadre transparent pour que chacun puisse participer de façon responsable à ce débat social. Il est difficile actuellement pour les citoyens de comprendre la logique des décisions des pouvoirs publics. Certains risques sont gérés selon un principe de risque nul (par exemple, le plomb dans l'eau potable). Pour d'autres une marge est tolérée (par exemple pour les rayonnements ionisants). Pourquoi les normes de nitrates dans l'eau d'alimentation sont-elles plus sévères que dans les légumes ? Pourquoi l'exposition tolérée aux rayonnements ionisants d'origine industrielle est-elle contrôlée bien plus sévèrement que celle des appareils de radiographie médicale ? On pourrait multiplier ces exemples dans lesquels il existe, au moins en apparence, une incohérence dans les pratiques.

Il n'est pas souhaitable que des problèmes complexes comme ceux-là soient gérés dans l'urgence. Mais pour qu'ils le soient en amont, il faut des règles claires et débattues. Celles-ci font encore défaut actuellement.

Yakka ? Fokon ? Nous allons nous risquer, maintenant, à faire des propositions pour donner corps à ces principes modernes de gestion des risques.

Développer la formation des citoyens et des responsables

Le public manifeste une attention croissante à l'égard de la qualité du cadre de vie et de ses liens avec la santé. Ces questions sont donc sensibles, mais une juste appréhension des phénomènes est difficile. La science a plus de mal, aujourd'hui, à répondre clairement car nos sociétés développées ont, pour l'essentiel, éradiqué ou considérablement réduit les sources d'agressions brutales et massives dont les conséquences néfastes sont aisément observables à court terme. Les troubles biologiques induits par les expositions plus modestes auxquelles nous avons à faire aujourd'hui sont d'expression sournoise, à bas bruit, sur un laps de temps plus long. En outre, les connaissances scientifiques évoluent de plus en plus vite. Certitudes d'hier, doute aujourd'hui.

Dans ce contexte, il ne faut pas rêver de connaissances encyclopédiques. Elles seront si vite obsolètes ! Ce dont on a besoin, ce sont des clés de compréhension du monde sans cesse changeant qui nous entoure. Savoir pour comprendre, s'adapter et agir. Pour élargir l'espace du débat public sur les risques liés au développement des techniques et à l'innovation, il importe de poursuivre sans relâche l'effort visant à construire et démocratiser une culture solide sur les sciences et les techniques. Cela est vrai au niveau de l'enseignement de base comme au niveau des formations spécialisées. Pour être pleinement citoyen, ne faut-il pas concilier talent (savoir et savoir-faire) et vertu (souci de la vie en société) ? : « La citoyenneté doit être à la fois de plus en plus capacitaire et de plus en plus égalitaire. »³

Mieux vaut une tête bien faite... L'environnement ne fait pas exception à la règle. L'objectif du corps enseignant, tout au long du cursus jusqu'au Bac (et au-delà), est de favoriser, chez nos enfants la curiosité. Savoir chercher les informations qui permettent de progresser dans la compréhension des choses, et penser les manières de

3. Blandine KRIEGL, *Philosophie de la République*, Plon, 1998.

les agencer pour résoudre les questions non résolues, plutôt qu'attendre des réponses toutes faites, dans l'encyclopédie ou chez le gourou. Celles-là, si d'aventure elles sont exactes aujourd'hui, seront assurément dépassées demain. C'est cette étincelle qui fait que l'esprit s'interroge, s'émerveille aussi, qu'il convient de maintenir allumée. Et pour cela, comme *Homo erectus*, il faut apprendre les gestes qui, entre deux galets et avec l'aide de quelques brindilles, font briller la flamme. Les sciences de base et cet état d'esprit qui permettront de s'adapter à ce flot incessant des techniques et des connaissances, s'acquièrent progressivement, depuis le plus jeune âge. Toutes les matières enseignées concourent à cet apprentissage, depuis le savoir lire et résumer un texte ou un schéma, jusqu'à comprendre le rétrocontrôle hormonal du cycle menstruel. Si l'océan des connaissances appelle, pour pouvoir progresser, une spécialisation croissante, laissons aux stades avancés du cursus académique, loin dans les seconds et troisièmes cycles universitaires, cette nécessaire œuvre de cristallisation – et de réduction hyperspécialisée – du savoir. C'est bien le plus grand danger qui guette les jeunes (et vieux) cerveaux : celui de préférer « savoir à peu près tout sur quasiment rien », pour ne pas donner l'impression de ne « savoir rien, ou si peu, sur presque tout ». L'éclectisme est une grande qualité, s'il cultive l'aptitude à la synthèse et au jugement.

Le champ de l'environnement et de la santé est, par essence, un monde de synthèse et de vision transdisciplinaire. Comment l'aborder par le seul microscope ? Autrement dit, il faut saisir toutes les occasions de croisement des champs disciplinaires, du collège au lycée. Apprendre à sélectionner, trier, structurer l'information, et surtout douter, remettre en cause ; hiérarchiser, dégager l'essentiel dans chaque fraction de savoir, pour relier les différentes pièces du puzzle, un puzzle dont le motif n'apparaît, confusément, qu'après coup, comme confirmation (ou infirmation) d'hypothèses de travail.

Après l'idée de curiosité, celle de citoyenneté est essentielle dans ce champ, comme dans maints autres. Comprendre, décrypter, c'est aussi – surtout ? – chercher les moyens d'agir, sauf à trouver un morbide plaisir à dresser quelque aride acte notarié des dégâts de l'environnement. Esprit « Santé publique » (cette ardente obligation qui pousse à vouloir réduire les risques et les inégalités devant les nui-

sances), quand tu nous tiens... Cette formation de base est aussi apprentissage de la vie civique : l'environnement est notre cadre de vie, celui des générations futures. N'est-il pas, volontairement ou sans qu'on en ait conscience, affecté par notre quête du confort et par notre insouciance ? N'est-il pas, à un plus haut niveau d'appréhension, un capital que les marchés s'arrachent, transforment, souvent dégradent, par souci de rapport immédiat ? Cette réflexion citoyenne est celle du temps long. Celui du legs dont nous jouissons, et de celui qu'on laissera aux nôtres, ou aux autres, dans deux à dix générations. Celui du temps des atteintes du milieu et du corps, celui de leur réparation... ou de leur souffrance. À l'heure où la vitesse est impériale, où l'information de l'instant écrase celle qui la précède immédiatement, à l'heure de l'espace et du temps virtuellement vaincus, il est urgent de prendre du recul et de regarder avec circonspection l'écume du jour.

• Des formations pour les métiers de l'environnement

Tous les métiers, ou presque, concourent à façonner notre environnement. Peut-on confier à des « experts » spécialisés, des sortes d'« environnementologues » le soin exclusif de conserver ou réparer ce bien si précieux ? Surtout pas ; ils seraient bien impuissants ! Un message d'espoir : depuis une petite dizaine d'années, les responsables de nombreuses formations professionnelles ont saisi la nécessité d'initier leurs élèves à certains aspects relatifs aux conséquences de leur future action. La protection de l'environnement et de la santé, n'est plus tout à fait une contrainte, c'est déjà, aussi, pour ces éclaireurs, un facteur de développement et d'innovation, dans un contexte concurrentiel féroce, ainsi que d'équité sociale. Les grands corps de l'État (Mines, Ponts et Chaussées, Eaux et forêts...) prévoient désormais une place pour l'enseignement de la notion de développement durable. Séminaires de juristes en herbe, et même (!) promotions des prochains cadres de la finance, bénéficient bien souvent d'une ouverture vers les impacts environnementaux et sanitaires, qui des usines à construire, des conflits de compétences entre institutions... ou des émissions de polluants par le trafic routier. Mais quantités de futurs bâtisseurs de routes, de concepteurs de nouvelles

molécules ou de serviteurs « de rang A » de l'État s'extraient, diplômés, de leurs bancs d'école, sans avoir effleuré ces dimensions de leurs futurs métiers. Il sera bien difficile, plus tard, d'expliquer au directeur du service de la voirie de cette grande métropole régionale pourquoi la protection des captages d'eau n'autorise pas l'extension de la rocade, pourtant si nécessaire pour désengorger le centre-ville... Il aura du mal, cet autre décideur, à arbitrer demain de manière éclairée entre les différentes logiques qui s'opposent face à la nécessité d'organiser différemment les filières du déchet, et risque d'avoir à subir, après-demain, les retours douloureux de ses choix imprudents.

Parmi ceux qui n'ont guère l'occasion de croiser ce discours sur l'environnement et les risques, paradoxalement, sont les professionnels de la santé. Et pourtant, chacun les appelle, comme sentinelles de la santé, ces médecins généralistes, ces pharmaciens d'officine ou ces vétérinaires « de terrain » qui, faute d'avoir été formés à reconnaître, derrière les souffrances qui leurs sont confiées, les menaces du milieu, devront se contenter de prescrire une nouvelle ordonnance contre les symptômes du mal. Par contraste, en Allemagne, une véritable compétence est donnée aux médecins libéraux et hospitaliers par une formation continue dans le domaine de l'environnement (*Umweltärzte*).

• La déshérence des formations spécialisées

Peut-on parler de « spécialistes », alors que les sciences de l'environnement et de la santé sont si diverses ? La spécialité est, s'il en est, d'en savoir assez sur tous ces ingrédients, pour être en mesure d'assembler et de donner du sens. Où forme-t-on à cela ? Dans de nombreux pays proches, aux Pays-Bas, en Suède, au Canada, aux États-Unis... il existe des temples de l'enseignement et de la recherche où l'on a cherché – et réussi – à faire collaborer des experts de biologie moléculaire, de savants chimistes, d'illustres statisticiens et épidémiologistes, et des toxicologues pointus... Cela conduit, dans un kaléidoscope d'une grande inventivité, à une production scientifique inégalée en France. Ici, « puisqu'on traite bien de la santé, n'est-ce pas ? » (entendez, de la médecine), on n'envisage pas que ces questions soient traitées (!) ailleurs que dans des facultés de médecine

(à la rigueur, de pharmacie ou, extrême limite, de sciences vétérinaires). Or, y règne sans partage l'hyperspécialité biomédicale. Déjà, H. Mahler, directeur général de l'Organisation mondiale de la santé, résumait son propos dans le *Lancet* du 1^{er} novembre 1975 par un titre cinglant : « La santé. Une démystification de la technologie médicale ». A-t-on vraiment progressé depuis ? On peut en douter. Quand on a besoin d'espace et d'intégration, l'Académie répond sonde nucléaire et chirurgie laser... Le propos est sans doute un peu sévère, parce que, dans ce contexte peu favorable, pourtant, quelques formations de bon niveau se sont développées, et concourent à former, dans l'esprit invoqué précédemment, des professionnels traqueurs des risques environnementaux (diplômes d'Université ou DESS), et les chercheurs qui, demain, produiront cette connaissance de synthèse (DEA). Mais, sauf exception, ces étranges personnages vivent quasiment en marge de leur monde académique ; ils sont en revanche portés et soutenus par une demande sociale très forte et par des financements sur programmes (c'est-à-dire très ciblés sur des objets spécifiques à défaut d'être pérennes) devenus récemment tout à fait significatifs. Mais institutionnaliser cela et structurer les quelques équipes universitaires qui s'agitent dans cet espace policé, en leur affectant ces postes si convoités par leurs pairs (les pères des « vraies » sciences biomédicales, « celles qui permettent de soigner, Monsieur. Le soin vous dis-je ! ») ? Vous n'y pensez pas ! Peut-être l'avenir est-il ailleurs.

Promouvoir une recherche de haut niveau, dans un contexte européen

L'étude attentive de la littérature scientifique dans le champ environnement-santé confirme, hélas, combien la production hexagonale est modeste, en volume. La « bibliométrie » est en effet instructive : les auteurs nord-américains y règnent en maîtres, même si la littérature européenne occupe une place fort honorable et croissante depuis une dizaine d'années. Mais où sont les élèves de Pasteur et de Villermé ? Soyons justes : leur contribution est qualitativement appréciable, si elle souffre d'anorexie ; de plus, elle est aussi sur une pente ascendante, mais les autres couleurs ont pris une telle avance !

Un autre symptôme ? Au printemps 1998 s'est tenue à Athènes une conférence organisée sous l'égide de l'Union européenne, qui souhaitait faire le point sur l'ensemble des recherches par elle financées sur le thème de l'environnement et de la santé. Près de 300 chercheurs répondirent présents, dont quelque 30 Bataves, guère moins de sujets de sa très gracieuse Majesté, et... 3 Gaulois.

Pourquoi cette faiblesse ? En premier lieu, par la modestie du nombre des divisions : si l'on met à part les nombreux chercheurs et techniciens (de talent) qui, au sein d'organismes comme l'INERIS ou l'INRS, ont principalement une activité de bureau d'étude pour les industriels, on peut estimer que de l'ordre d'une centaine de chercheurs se consacrent en France à la santé environnementale. À quelques encablures, le RIVM⁴, aux Pays-Bas, mobilise dans plus de trente laboratoires 1 200 personnes, dont la moitié dans ce même domaine, et le GSF⁵, en Allemagne, rassemble 1 600 agents au sein de divers instituts de recherche (sans compter les instituts des Länder et de l'État fédéral). Au-delà de ces aspects quantitatifs, l'organisation de la recherche, en France, est entièrement focalisée vers de grands champs disciplinaires spécialisés. Les organismes de recherche publique (CNRS, INSERM, INRA...), comme l'institution universitaire, évaluent les équipes et les personnes par des commissions de pairs constituées par spécialités. Les approches transversales et interdisciplinaires sont le plus souvent l'objet de regards suspicieux, au mieux condescendants. Gare à l'éclectisme et à ceux qui pensent utile d'enjamber les douves de ces forteresses : ils risquent d'y sombrer. L'environnement et la santé ? « C'est pas trop appliqué, tout ça ? » Où est la noblesse désintéressée de la recherche fondamentale ? Pire, le temps important que les quelques « spécialistes » de ce domaine, appelés souvent pour donner un avis au sein de diverses instances consultatives nationales, consacrent à cette activité d'« expertise » (cette interface entre ceux qui font métier de connaître, et ceux qui ont pour fonction de décider), peut leur être terriblement préjudiciable ; cette contribution, pourtant si nécessaire pour éclairer les

décideurs et leur permettre d'arbitrer en « toute » (meilleure) connaissance de cause, n'a pas, dans les cénacles académiques, le statut de la Science. La vraie se déroule en laboratoire (éventuellement sur le terrain, voire en conférences spécialisées), et s'alimente de ses propres interrogations, pas en assemblée où les questions sont posées par la société (ou le Ministre). D'ailleurs, ces grands organismes de recherche consacrent une part infime à cette activité « de service » ; infime mais néanmoins croissante, dernièrement : on ne peut justifier d'absorber des budgets colossaux sans prendre de temps à autre le temps de répondre aux préoccupations de ceux qui paient l'impôt et de ceux qui en affectent le produit... Il reste que les experts (bénévoles) du Conseil supérieur d'hygiène publique de France ou du Comité de la précaution et de la prévention, font pâle figure aux côtés de leurs collègues des États-Unis, mis à disposition des départements ministériels et des grands organismes d'expertise par leurs institutions respectives, lesquelles doivent leur donner des moyens d'exercer leur mission. Cela est d'autant plus dommageable que les moyens internes d'expertise des ministères sont très insuffisants. Malgré toute la compétence et bonne volonté de ses membres, peut-on vraiment escompter que les bureaux chargés de l'hygiène du milieu et des risques radiologiques au sein de la Direction générale de la santé (fortes, respectivement de 10 et 4 agents cadres en 1998...), soient en mesure de préparer l'ensemble des décisions relevant de leur champ, et d'évaluer les politiques mises en œuvre ? La situation n'est guère plus brillante ailleurs, au ministère chargé de l'Environnement, où les compétences dans le domaine de la santé sont en nombre très restreint, ou encore à la DGCCRF qui consulte une commission de sécurité des consommateurs experte dans le domaine... des risques accidentels. Il manque sans doute, dans le paysage pourtant déjà par trop atomisé du champ de la santé publique et de l'environnement, une instance interministérielle qui pourrait définir de manière intégrée les besoins d'expertise des administrations en charge de dessiner notre cadre de vie, et de piloter l'effort de recherche appliquée nécessaire à leurs décisions. Ce rôle est, pour partie, rempli par l'ADEME pour les ministères de l'Environnement, de l'Industrie et de la Recherche, mais son intervention concerne relativement peu les thèmes relatifs à la santé. On en reparlera plus loin.

4. Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu (Institut de l'environnement et de la santé publique)

5. Gesellschaft Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit.

Quels pourraient être des priorités de recherche dans le domaine environnement-santé ? L'exercice est délicat et ne prétend pas être indiscutable. En cohérence avec tout ce qui a été dit précédemment, c'est une vision intégrée de la démarche d'évaluation des risques qu'il faut avoir. De quoi a-t-elle besoin ? Certainement, d'une recherche amont : la toxicologie est trop peu développée (en recherche et en enseignement) en France ; elle est de plus dispersée dans un grand nombre d'institutions (des équipes existent au sein du CNRS, de l'INSERM, de l'INRA, du CNEVA [intégrée dans la nouvelle Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation, AFSSA], du CEA, de l'INERIS, de l'INRS, de l'Université...). L'épidémiologie est dans un même état, et ses forces sont encore moindres, dans le domaine particulier de l'environnement. Le renforcement de l'ex-Réseau national de santé publique, transformé et élargi en 1998 en Institut de veille sanitaire (InVS), comble en partie le retard, mais celui-ci est si grand... La recherche microbiologique s'intéresse encore peu aux aspects sanitaires liés à la présence de germes dans l'environnement, même si a progressé la prise de conscience que la thérapeutique anti-infectieuse ne pouvait plus tenir lieu de politique de maîtrise du risque. La « surveillance »⁶ concernant la qualité des milieux et la santé des populations est à développer très fortement. C'est la fonction dévolue à l'InVS, ainsi qu'à l'AFSSA pour l'alimentation. Si la surveillance de certaines maladies est indispensable, comme signal d'alerte⁷, il est aussi nécessaire de promouvoir la surveillance de la qualité des milieux car elle permet souvent d'apprécier les risques encourus. L'eau (de boisson ou de baignade) fait l'objet, pour un nombre limité de paramètres, de la surveillance la plus intensive ; et bientôt, à large échelle, l'air en site urbain et industriel. Mais des

6. La surveillance est l'activité qui consiste à suivre de manière systématique l'évolution, dans le temps, d'un problème, pour fournir en temps réel des moyens d'agir si un phénomène jugé préoccupant se produisait.

7. Il serait particulièrement utile, à cet égard, de développer de nouveaux registres de maladies potentiellement liées à l'environnement : outre certains cancers, des maladies neurologiques, des troubles de la reproduction, l'asthme... Le développement du dispositif de collecte des données médicales Réseau santé social, sous l'égide de la Sécurité sociale, peut fournir des informations très utiles, pour cela. Ses spécifications doivent être définies pour le permettre.

milieux comme les sols ou l'habitat sont plus mal connus. La construction et l'actualisation régulière de bases de données où seront rassemblées l'ensemble des informations collectées par diverses instances, constituerait un moyen de tisser progressivement une cartographie des nuisances potentielles et des risques, base d'une politique préventive éclairée. De l'amont à l'aval, et en retour, vers la recherche visant à caractériser la nocivité des facteurs d'environnement que la surveillance aura révélés comme délétères, le cycle de l'évaluation du risque est ainsi parcouru. Cette mission de rassemblement et de valorisation des données de surveillance utiles à l'appréciation des risques pour la santé est dorénavant dévolue à l'InVS, dont les moyens devraient continuer à augmenter pour pouvoir répondre à ce mandat.

Une mention particulière mérite d'être faite, aux confins de la recherche, de la formation et de l'expertise, de la dimension internationale. La France, et avec elle, l'Union européenne, ont les moyens et le devoir de déployer une politique d'accompagnement de pays en développement dans ce champ qui, bien plus que dans nos pays pourvus, constitue encore la première menace pour la santé des populations. Au-delà d'un plaidoyer pour un effort de solidarité, c'est aussi pour promouvoir le rôle et l'influence de la France et de l'Europe dans le monde qu'un tel investissement est particulièrement judicieux.

Une dualité essentielle : l'évaluation et la gestion des risques

Juge et partie. Contrôleur et contrôlé. Évaluation et gestion. Partout où les fonctions sont confondues naissent des conflits d'intérêt et le jugement se trouble. Notre dispositif décisionnel a trop longtemps joué d'une certaine complicité, facilitée par un système qui voit fréquemment de hauts responsables passer du bureau de l'administration de tutelle au siège de l'industriel ou encore au statut de l'expert technique chargé de donner un avis sur la sécurité. Pire, lorsque faute de moyens propres, l'administration se contente de s'appuyer sur l'expertise des acteurs économiques. Ces diverses fonctions sont toutes honorables et nécessaires. C'est la confusion des rôles qui est source potentielle de « malgouvernance ». De graves crises de santé publique, et maintes autres situations déplorables, quoique moins sérieuses, ont surgi, en apparence brutalement, parce que, pendant

des années, les espaces respectifs des contrôleurs et des opérateurs étaient emmêlés. La contamination des personnes transfusées par le virus du sida, les expositions professionnelles à l'amiante, parmi d'autres, sont fortement marquées par des défaillances du système d'expertise et de contrôle, en partie par manque de moyens, mais plus fondamentalement par une culture archaïque du contrôle public.

On est dans un « jeu » à quatre bandes. L'opérateur industriel (qu'il soit de statut public ou privé ne change pas grand-chose à l'affaire) a certes pour obligation de veiller à ce que son action (produire des biens de consommation, traiter des déchets du nucléaire...) n'occasionne pas des nuisances au milieu ni des risques pour la santé ; il doit notamment, pour cela, se conformer à des principes de bonnes pratiques (définies par des normes et règlements...). Mais son objet premier est de produire dans les meilleures conditions de coût et de qualité, et il cherchera toujours à réduire les prix de revient. Il incombe au contrôleur-régulateur (l'État ou un agent commis par lui), de fixer des règles qui définissent des obligations de résultats (ne pas émettre plus de tant de polluant à la cheminée, ne pas exposer les travailleurs ou les riverains à des bruits supérieurs à tant...), et veiller à leur respect. Sur quelles bases l'instance de régulation (selon les cas, le/la ministre ou le préfet, pour les décisions plus locales) établit-elle ces obligations de résultats, c'est-à-dire situe le curseur des contraintes ? Elle s'entoure pour cela de divers avis, notamment ceux d'évaluateurs du risque qui lui diront si le mode de fabrication industriel considéré (ou toute autre activité) est de nature à entraîner des risques, par exemple du fait de l'émission de produits nocifs en quantité excessive. « Ces produits sont-ils vraiment nocifs ? À partir de quels niveaux d'exposition des milieux et des personnes, cette nocivité peut-elle se manifester ? » Les réponses à de telles questions sont très souvent délicates.

Et puis, il y a un dernier (?) acteur : le citoyen, qu'il soit riverain consommateur, travailleur, élu local, lequel est d'ailleurs tiraillé entre son désir d'assurer le développement économique de sa ville et de répondre aux préoccupations de ses administrés qui craignent pour leur bien-être.

Considérons « l'expert évaluateur ». Il est très important que ceux (les personnes ou les instances) à qui a été confiée la mission d'évaluer les risques associés à une activité ayant un impact sur

l'environnement puissent exprimer leur avis en toute indépendance. En effet, il n'est pas dans leur mission ni dans leur légitimité de se substituer au décideur, en annonçant « la meilleure » décision à prendre pour réduire les risques éventuellement mis en évidence. Ils auraient tort d'y prétendre, et l'autorité de tutelle serait bien mal inspirée de les y pousser, comme la tentation pointe encore parfois, « pour se défaire » d'une décision difficile. Encourager cette confusion pourrait conduire ces experts à intégrer dans leur appréciation du risque et de son importance, d'autres dimensions que celles fondées sur les faits scientifiques eux-mêmes. Le lecteur aura compris que l'exercice d'évaluation est difficile et non dénué de jugements, surtout quand les données scientifiques ne sont pas bien stabilisées. Il oblige à faire des hypothèses de calcul et des choix qui reposent implicitement (parfois explicitement) sur des jugements « transscientifiques », comme par exemple la prise en compte de tel effet sanitaire comme repère pour l'estimation de risque, la maximisation des scénarios d'exposition, l'adoption de telle ou telle valeur de référence toxicologique. Supposons que, lorsque ces choix sont discutés par les évaluateurs (qui n'ont pas toujours le même avis sur le sujet), des contraintes d'une autre nature soient prises en considération comme, par exemple : « est-il vraiment possible de réduire les émissions jusqu'à ce niveau, compte tenu du coût des systèmes de dépollution ou des technologies disponibles ? » ou bien : « des décès précipités de quelques jours, chez des personnes particulièrement malades, est-ce vraiment un problème de santé publique ? », etc. Il y a un risque évident que, dans ce contexte, la tendance (délibérée ou non) conduisant à une minimisation des conséquences et des risques soit très pesante et biaise le jugement des experts : « Après tout, l'amiante, c'est dangereux seulement quand les gens sont exposés à des niveaux vraiment élevés. » Suffocant ? C'est pourtant ce qu'on a laissé penser pendant près de 20 ans, par omission. C'est l'ensemble de l'exercice d'évaluation du risque qui perdrait de son acuité, de sa pertinence et finalement de sa légitimité.

Pour autant, les auteurs de ce livre ont conscience que la dimension sanitaire n'est pas la seule que les parties concernées, au niveau national ou local, entendent prendre en compte : l'aménagement du territoire, les aspects techniques et économiques, la politique de l'emploi, parmi d'autres critères d'appréciation, sont et seront toujours

des paramètres importants des (petites ou grandes) décisions politiques. Pour que le travail des évaluateurs du risque soit véritablement utile, c'est-à-dire qu'il contribue à ce que la santé publique pèse de tout son poids dans les arbitrages finalement rendus, il est essentiel que chacun soit convaincu que seules des considérations sanitaires l'ont inspiré. Comme il est clair – pourquoi se le cacher ? – que l'intérêt de l'industriel primera toujours dans son point de vue, même si c'est en toute bonne foi. Chacun à sa place, la confrontation des différents avis, aussi légitimes les uns et les autres, pourra se dérouler dans la transparence. C'est alors affaire de débat public, de démocratie, de responsabilité politique et juridique... La gestion des risques selon le principe de précaution exige que le processus de décision comporte un ou des responsable(s) clairement identifiés : la partie qui est à l'origine du risque hypothétique (l'exploitant – industriel, collectivité locale...), et le régulateur de celui-ci (l'administration qui autorise et surveille). Il revient au responsable régulateur, une fois les différents avis entendus contradictoirement au sein d'instances consultatives d'expertise, d'arbitrer entre les avantages et les inconvénients des différentes solutions. C'est au « politique » (le/la ministre, le préfet) d'assurer la meilleure synthèse des différents points de vue ainsi exprimés. Les avoir écoutés n'engage pas pour autant ce responsable à se plier à chacun d'eux ; une décision exige une synthèse et une appréciation responsable. Le principe de précaution, dans ce contexte, est tout sauf un principe d'abstention systématique, mais bien de gestion éclairée et prudente. Il revient, par ailleurs, au responsable exploitant d'apporter à ce débat contradictoire préalable à la décision toutes les informations qu'il a à sa disposition, de les actualiser et les rendre accessibles même après la décision.

Garantir une évaluation indépendante des risques, organiser le débat contradictoire et public au sein d'instances d'expertise consultatives, selon des procédures transparentes et stables. Tels sont les principes essentiels d'une gestion moderne et responsable des risques. Les pouvoirs publics ont compris que c'était la voie de la sagesse. La loi cadre de sécurité sanitaire du 1^{er} juillet 1998 a conduit à la création de diverses agences spécialisées, dans les domaines des produits de santé, de l'alimentation et de la surveillance (la « veille ») sanitaire, bientôt sans doute aussi dans celui de la radioprotection. Une certaine hétérogénéité des logiques subsiste (par exemple,

l'Agence des produits de santé et l'AFSSA conjuguent une mission d'évaluation et une mission de contrôle alors que l'InVS n'a qu'une mission d'évaluation et d'alerte), mais la route est tracée.

Le dispositif était incomplet : il y manquait une instance spécialisée de sécurité sanitaire de l'environnement. Le Premier ministre l'avait annoncée le 30 juin 1999 ; elle verra enfin le jour. Quelles missions, quel contenu, quels moyens ? Les avis de départ semblaient bien distants. Pour certains, l'INERIS, forte de ses quelque 400 agents, pouvait servir, en l'état, d'ossature à cette future agence (comme le CNEVA est la colonne vertébrale de l'AFSSA), en voyant ses compétences élargies à l'évaluation des risques des substances chimiques nouvelles, avant leur production et leur mise sur le marché. Cela intéresse la protection de la santé des travailleurs, la préservation des milieux et la santé des consommateurs, ces différents types d'impact étant actuellement étudiés de manière complètement éclatée au sein de différentes instances scientifiques (voir p. 259 les procédures d'autorisation). L'institut aurait donc eu, selon ses départements scientifiques, à la fois une mission de bureau d'étude pour les industriels (cette activité représente près de 30 % de ses ressources actuelles), de contrôle technique pour le compte du ministère chargé de l'Environnement, et d'évaluation des risques des substances chimiques. Le lecteur aura compris que, sans précaution particulière, cette confusion de rôles si essentiellement différents (et parfois contradictoires) est particulièrement malsaine. Le RIVM, aux Pays-Bas, ne peut pas, aux termes de la loi, dépendre de financements privés. Or, l'intégration des différentes facettes de cette activité d'évaluation des risques des substances chimiques est essentielle et nécessaire ; elle est très imparfaitement assurée aujourd'hui en France, du fait de cet éclatement des instances compétentes. Du coup, notre pays tient une place bien modeste, dans ce domaine, dans les instances européennes. Pourtant, cette activité ne doit pas être confondue avec les autres fonctions de l'INERIS, sous peine de justifier les mêmes critiques que celles, sévères, adressées de longue date à l'INRS⁸, chargé d'évaluer les risques pour les travailleurs, de

8. Et encore récemment, en 1999, dans un rapport sévère de l'Inspection générale des Affaires sociales.

proposer des valeurs limites d'exposition professionnelle aux polluants inhalés... et constituée comme association paritaire, relevant de la Sécurité sociale, où siègent, vigilants, les représentants industriels ! Contrôleur et contrôlé...

Une instance indépendante de coordination des procédures d'expertise pour l'évaluation des risques liés à l'environnement, ainsi que des nouvelles substances chimiques, *en amont* de leur production et usages, est donc à créer car elle manque aux décideurs (ministères en charge du Travail, de l'Environnement, de la Consommation et de la Santé, voire de l'Habitat ou de l'Agriculture...), lesquels, après cette expertise intégrée, pourront encadrer les conditions de production et d'emploi, parfois même interdire le produit avant qu'il n'entraîne des dégâts. Par souci de cohérence, cette mission peut d'ailleurs logiquement s'élargir au domaine des grands aménagements (voiries nationales...) et installations à caractère industriel. Elle est distincte de celle de l'évaluation, *en aval*, des risques liés à la pollution des milieux ou de l'évaluation d'éventuels dommages qui pourraient survenir du fait de la production des substances chimiques, malgré toutes les précautions prises, que ce soit parce qu'on ne savait pas tout sur les effets biologiques des substances lors des procédures d'autorisation, parce que les usages autorisés ont progressivement dérapé... ou parce que des actes délictueux ont été commis. Cette évaluation *d'aval* relève actuellement de la mission de l'Institut de veille sanitaire. Compliqué, n'est-ce pas ? Des pays voisins, comme les Pays-Bas, ont réuni en une seule instance l'accomplissement de ces deux fonctions. Il est vrai qu'ils n'ont pas, comme en France, le génie de l'atomisation et de l'incessante joute interministérielle. La collaboration étroite entre ces deux niveaux de l'expertise publique est évidemment indispensable.

En plus de l'impulsion et de la coordination des travaux scientifiques et des études relatives aux risques liés à notre milieu de vie, cette nouvelle agence devra également jouer un rôle majeur d'animation du débat public sur les risques. Nous l'annonçons d'entrée dans cet ouvrage : l'immaturité de ce débat public, en France tout particulièrement, est un facteur majeur d'errements de la décision, et donc de perte de confiance et de peur. L'affaire du pétrolier Erika qui, au-delà du scandale que représentent les graves insuffisances du contrôle de la sécurité du transport maritime des produits dange-

reux, a révélé des failles sérieuses dans le dispositif d'information sur les risques pour la santé (ce qui a donné prise à l'accusation – tout à fait injuste – de dissimulation), montre cette urgente nécessité d'assurer l'information la plus complète sur la réalité et l'ampleur des risques, seule voie vers la responsabilisation de tous les acteurs.

Des lieux et des procédures de débat public pour des risques « acceptables »

Il a été proposé que le Parlement se saisisse de la question du niveau de risque que la société jugerait inacceptable, comme cela a été fait par les Pays-Bas (décidément bien exemplaires !). À partir de quel risque, individuel ou collectif, les autorités concernées auraient-elles obligation de mettre en œuvre des mesures de maîtrise et de réduction ? L'US-EPA l'a fixé entre 10^{-6} et 10^{-4} pour le risque cancérogène sur une vie entière, à 10^{-4} pour le risque infectieux annuel ; nos voisins hollandais ont retenu aussi le seuil de 10^{-6} . C'est en effet très bas en regard d'un risque moyen actuel de 27 %, pour chacun, de mourir d'un cancer⁹. On s'interroge : est-ce vraiment affaire de loi ? Car l'acceptabilité sociale d'un risque n'est pas nécessairement plus déterminée par sa nature, son ampleur et l'identité des personnes menacées (facteurs qui peuvent plus ou moins bien être analysés objectivement, et relativisés par une étude scientifique), que par la perception que ces personnes ou plus généralement le

9. D'après les statistiques de mortalité de la population française portant sur la période 1990 à 1995, le risque « vie entière » de décéder d'une affection cardiaque ischémique (y compris l'infarctus du myocarde) s'élevait en moyenne à $10.6. 10^{-2}$; le cancer des poumons, de la trachée et des bronches tuait avec un risque vie entière de $3.1. 10^{-2}$; des risques décroissants sont trouvés pour d'autres causes de décès telles que le suicide ($1.6. 10^{-2}$), les chutes accidentelles ($1.4. 10^{-2}$), le cancer du sein ($1.4. 10^{-2}$), les accidents de la circulation ($1.2. 10^{-2}$), le sida ($5.5. 10^{-3}$), la noyade ($5.1. 10^{-3}$), les homicides ($8.3. 10^{-4}$) et l'électrocution ($7.7. 10^{-5}$). Une autre manière de prendre des repères est d'évaluer le risque mortel lié à certains comportements ou événements de la vie courante, comme le fait de fumer pendant 40 ans un paquet de cigarettes par jour (de l'ordre d'une « chance » sur 5 pour le seul cancer du poumon) ou de boire pendant la même durée l'équivalent de 30 verres d'alcool par semaine – soit 2 verres de vin à chaque repas et 2 apéritifs le week-end – (une chance sur 20, approximativement) ; la foudre entraîne un risque de décès de $6.7.10^{-6}$ par impact. Prendre le train s'accompagne d'un risque annuel de $3. 10^{-8}$ par voyage. (Source : S. LALLEMAND, DESS d'épidémiologie appliquée, 1999, université Joseph-Fourier-Grenoble I.)

corps social, ont du processus qui a conduit à sa genèse et à sa gestion. Parmi les éléments majeurs de cette perception il y a la prise en compte, lors de la prise de décision, de tous les avantages et inconvénients de l'installation, l'aménagement, la production... (c'est le principe d'équilibre c'est-à-dire de non-distorsion de la décision autorisant l'activité), le caractère démocratique du processus de décision, qui implique transparence et équité, et la traçabilité des responsabilités.

Le fait que certains risques, très sérieux, soient pris délibérément ou par inconscience, par beaucoup de personnes (fumer, conduire à vitesse excessive, porter un baladeur à haut niveau sonore...) n'affranchit pas la puissance publique de s'assurer que ceux qui sont imposés aux personnes par des décisions collectives modifiant le cadre de vie, le soient après une évaluation complète et démocratique de leur justification et de leur impact. Certes, pour cela, des repères sont utiles. Alors : 10^{-4} , 10^{-6} ?

On l'a compris : la perception sociale d'un risque (même erronée) est un sérieux problème de santé publique, qui ne saurait être sous-estimé. Les préoccupations qui sous-tendent cette perception du risque ne peuvent être réduites par un discours purement technique et rationnel, même s'il est bien fondé. Ces préoccupations doivent trouver des lieux d'expression et d'écoute, sous peine de les voir s'exacerber. Il existe ainsi une très forte exigence de démocratie ; les personnes susceptibles d'être affectées par les choix d'aménagement, d'installation (industrie, voirie...) souhaitent être directement impliquées dans les lieux de délibération qui préparent ces décisions. Directement, c'est-à-dire pas seulement par l'intermédiaire de leurs représentants élus. Cela ne réduit pas le rôle des représentants élus, mais assure aux personnes concernées que leur point de vue sera pris en considération.

Au niveau local, les Conseils départementaux d'hygiène (instances consultatives placées sous l'autorité du préfet, auxquelles sont soumis, pour avis, tous les projets d'activités susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement et la santé) doivent s'ouvrir à l'écoute des citoyens directement concernés, et mieux garantir la participation de responsables associatifs. Aujourd'hui, ces espaces apparaissent bien opaques. Les Comités de liaison, d'information et de suivi (CLIS), mis en place pour que puisse s'exercer le droit à l'information des personnes résidant au voisinage d'installations ou d'aménagements importants dans les domaines du nucléaire et du stockage des déchets, devraient cou-

vrir tout autre domaine relatif à l'environnement et la santé, à la demande des riverains et des élus locaux, et disposer en propre de moyens financiers, alloués par l'État, les communes et les industriels, pour faire réaliser des investigations par des experts choisis par eux (sous réserve de compétence), ce qui contribuerait à renforcer la pluralité des expertises. Les CDH, au niveau départemental, pourraient tenir lieu de CLIS dans certaines affaires à caractère plus large.

Cette exigence de démocratie requiert bien sûr un effort de transparence, qui garantisse l'accessibilité des données sur les risques, y compris lorsqu'elles sont incertaines, contradictoires ou controversées. Une véritable révolution est demandée aux administrations de l'État et des collectivités territoriales, aux acteurs industriels, pour reconnaître véritablement ce droit à savoir. Les procédures des enquêtes publiques ont fait l'objet récemment d'améliorations, et l'indépendance des « commissaires-enquêteurs » est mieux garantie. Mais elles n'apportent pas encore suffisamment de transparence au débat et ne permettent pas aux citoyens de faire part véritablement de leurs préoccupations. « On a l'impression que ce sont toujours les mêmes experts qui font ces enquêtes. » L'information du public est limitée à quelques heures dans le mois du déroulement de l'enquête. Si la participation de tous est illusoire, il apparaît qu'une condition importante pour que le public se mobilise pour participer à ce débat est que ses élus et associations soient pleinement informés, suffisamment en amont, de telle sorte qu'ils aient pu préparer leurs critiques, questions et propositions, et informer la population. Revenons aux CDH : est-il encore acceptable que leurs délibérations restent secrètes ? Face au poids des (nombreuses) administrations de l'État, ne doit-on pas renforcer et diversifier la représentation des associations de défense de l'environnement ? Ces CDH devraient pouvoir s'autosaisir, alors qu'aujourd'hui le Préfet est seul maître de leur ordre du jour.

Responsable mais pas coupable

Un dernier point mérite d'être exploré : celui du dommage éventuel et de sa réparation. Cette question importante a été soulevée dans le cadre des États généraux de la santé organisés en 1999 par le secrétaire d'État à la Santé d'alors, Bernard Kouchner. Les participants

aux débats qui se sont déroulés sur les risques liés à l'environnement, représentatifs de sensibilités très variées de la société civile, se sont interrogés sur la distinction pouvant être établie entre responsabilité morale et politique, d'une part, et responsabilité juridique (« coupable »), d'autre part. L'idée semble admise que la procédure préalable à la décision, même respectueuse de la transparence et inspirée par le principe de précaution, ne garantira jamais, en toute circonstance, l'absence de conséquences péjoratives, même rares, chez certaines personnes particulièrement sensibles. Est-ce parce qu'il y aurait eu faute ? Non, mais il y a cependant dommage. Il revient alors aux autorités responsables de reconnaître rapidement ces dommages et d'engager une indemnisation des victimes, sans qu'il faille nécessairement identifier et punir des « coupables ». La traçabilité des niveaux de responsabilités est alors indispensable pour que chacun réponde de manière proportionnée à ses responsabilités de ces conséquences éventuelles. Aujourd'hui, les personnes qui se disent victimes doivent assumer seules le « procès à charge » pour faire reconnaître le dommage. La machinerie administrative et judiciaire oppose mille obstacles sur cette course au droit ; il en naît souvent frustration, ressentiment et agressivité procédurale ; paradoxalement, c'est par le chef d'accusation de grave négligence, voire de crime (ils savaient et n'ont rien dit), que ces obstacles paraissent pouvoir être contournés. Disons-le fortement : malgré une couverture médiatique assurée, cette voie est une impasse pour la démocratie et la prise de responsabilité par chaque acteur, de bonne foi dans l'immense majorité des cas. À l'image des « médiateurs de justice », ne faut-il pas plutôt installer, en amont de la procédure judiciaire, une instance (à caractère public) où les victimes (ou qui se disent telles) pourraient bénéficier de l'appui d'experts indépendants pour instruire leur plainte, attester de sa légitimité (éventuellement convaincre les plaignants du caractère mal fondé de leurs préoccupations) et cerner les parts de responsabilités (régulateur, exploitants) ? Ce même souci est souvent exprimé dans les procédures (lourdes et aléatoires) de reconnaissance de maladies professionnelles. Cette nouvelle approche de médiation et d'accompagnement pourrait ainsi s'appliquer de manière élargie aux risques professionnels et environnementaux, voire à d'autres risques. Le juge n'interviendrait alors que si les parties (plaignant, exploitant

et régulateur) ne parviennent pas à un accord. Le dossier, au fond, n'est pas si éloigné de celui de l'« aléa thérapeutique », ce risque qui résulte de soins, même les mieux réalisés, du fait de cette part, toujours présente, d'incertitude ou de réactions imprévisibles. Dans ce domaine, il est proposé la création d'un fonds d'indemnisation des accidents non fautifs graves, dont pourraient bénéficier les victimes, y compris pour permettre le financement des expertises de responsabilité. Des commissions régionales indépendantes et collégiales d'expertise en responsabilité médicale sont envisagées, chargées de rendre un avis sur les conditions d'indemnisation. Ce serait non seulement justice, mais aussi, peut-être, un moyen de réduire les conflits et les durées de procédures interminables. De l'accident médical au risque environnemental... Les ressemblances poussent à explorer ces voies de l'indemnisation sans faute.

Si ces diverses conditions sont respectées, peut-être, le corps social pourra-t-il renoncer progressivement à cette judiciarisation et cette culpabilisation croissantes qui sont recherchées actuellement, comme voies de Rédemption. À défaut, il y a un grand risque que le principe de précaution soit brandi, en face de tout risque hypothétique, comme une obligation d'abstention ou comme une exigence de risque nul, ce qui conduirait paradoxalement à ralentir, voire bloquer des décisions pourtant propres à améliorer certaines situations de risques avérés mais socialement mieux consentis.

Cerner et apprivoiser le risque, démocratiser le débat, décider avec prudence, affirmer et tracer les responsabilités, reconnaître les éventuels dommages : autant d'étapes pour une gestion moderne des risques liés à l'environnement qui placent le citoyen éclairé et responsable au cœur d'un nouveau projet de santé publique par la préservation de notre environnement.

Hamedan (Ecbatane ¹⁰),
août 1999 et Grenoble, février 2000.

10. Lieu de naissance de Abu Ali Hussain ibn Abdallah ibn Sinâ, dit Avicenne (980-1037), auteur du *Canon de la Médecine*.

ANNEXE I

1. Principes d'épidémiologie et applications dans le domaine de la pollution atmosphérique

Epi, demos, logos. « L'étude de ce qui concerne la population ». Cette science étudie non des individus isolés, mais des groupes de personnes (*population*). Les études épidémiologiques s'intéressent à l'homme dans ses conditions réelles de vie. Elles cherchent à identifier les conséquences d'une exposition. Elles tentent de mettre en évidence un lien entre la dose ingérée et les effets sur le corps. Elles définissent les groupes de population qui ont des risques plus grands de subir des atteintes. Elles mesurent l'efficacité des politiques mises en œuvre pour réduire les risques.

Les études épidémiologiques sont très différentes des études expérimentales où l'on expose quelques volontaires en bonne santé ou des animaux à différents niveaux de polluants dans une atmosphère strictement contrôlée. En procédant ainsi, la recherche explore les mécanismes et les seuils de déclenchement d'effets biologiques et sanitaires et détermine l'effet de mélanges simples de polluants. Mais ce qui a pu être mis en évidence chez le rat ou l'adulte en bonne santé, soumis à une exposition parfois importante, mais durant une durée relativement brève, s'applique-t-il au sujet malade, au vieux ou au nourrisson, subissant ce genre d'exposition pendant une longue période à des niveaux sensiblement moindre ? Il est difficile de répondre sans « aller voir » l'homme en situation réelle, dans son environnement.

Les études temporelles vont mettre en regard les niveaux ambiants quotidiens de polluants avec les données sanitaires telles que les consultations médicales, les admissions hospitalières, les décès, etc. C'est ce type de travail qui a été le plus souvent réalisé au cours de ces dernières années, notamment en Europe (étude APHEA) et en France (étude ERPURS, ou, plus récemment, l'étude « des 9 villes »). APHEA, réalisée dans 15 villes européennes, a montré que pour une augmentation de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux journaliers de pollution on observait d'abord un accroissement de 4 à 5 % de la mortalité pour causes respiratoires, et de 1 à 4 % de la mortalité pour causes cardio-vasculaires ; ensuite, une augmentation de 1 à 3 % du nombre journalier d'hospitalisations pour causes respiratoires chez les patients âgés de 65 ans et plus ; enfin de 1 à 8 % d'hospitalisations supplémentaires pour asthme chez l'enfant et de 1 à 4 % pour broncho-pneumopathies chroniques obstructives.

Ces résultats sont souvent croisés avec des études de panels. Il s'agit de suivre un échantillon d'individus, souvent un sous-groupe sensible de la population (enfants, sujets asthmatiques, etc.), pendant quelques semaines à quelques mois pour évaluer à intervalles réguliers l'état de santé des individus et leur niveau d'exposition à la pollution. Dans deux villes de Suisse, on a ainsi suivi pendant six semaines un échantillon de 625 enfants âgés de moins de 5 ans. Au cours de cette période, les niveaux ambiants de particules en suspension, d'oxydes de soufre et d'oxydes d'azote ont été surveillés, et des mesures des niveaux d'oxydes d'azote ont été effectuées à proximité des domiciles des enfants. La fréquence des symptômes respiratoires tels que les toux, l'écoulement nasal, les maux de gorge, la gêne respiratoire... et leur durée, ont été évaluées au moyen de questionnaires journaliers remplis par les parents. La fréquence des affections des voies respiratoires supérieures s'est avérée « significativement »¹ liée aux hausses de concentrations des particules en suspension, et la durée des symptômes respiratoires augmentait avec le niveau d'oxydes d'azote.

1. Significativement. C'est un mot magique en épidémiologie. Cela veut dire que les différences mises en évidence ne peuvent être simplement expliquées par le hasard. Pour cela, l'épidémiologiste fait des tests statistiques : les biostatistiques, avec la conception de protocoles d'étude, sont les deux mamelles de l'épidémiologie. Mais « significatif » ne veut pas dire « certain » : l'épidémiologiste n'apporte pas de preuve irréfutable ; il accumule les éléments à charge, confortés alors ou non par les données expérimentales.

Dans les études géographiques, on explore les données sanitaires de deux ou plusieurs régions différentes, comparables du point de vue des populations, mais exposées à des niveaux différents de polluants. Ainsi, de janvier à décembre 1987, l'Assurance maladie du Japon a comparé les déclarations de maladies respiratoires, de conjonctivites, et de dermatites entre deux zones situées à 10 km au sud-est du volcan du mont Sakurajima censées être exposées à des niveaux élevés de poussières volcaniques, et deux autres zones situées de 10 à 15 km du volcan et donc moins polluées. Les médecins japonais ont effectivement constaté des taux de consultations pour les maladies respiratoires plus élevés dans les deux premières zones.

La suppression (ou inversement la création) temporaire ou définitive d'une source de pollution peut créer une situation *semi-expérimentale*. En août 1986, une aciérie du centre de l'Utah, aux États-Unis, principale source de pollution particulière pour la région, a été fermée pendant 13 mois pour cause de grève. Pendant la période de fonctionnement de l'usine, on avait relevé des niveaux de particules en suspension et de monoxyde de carbone supérieurs aux normes américaines en vigueur. Les admissions hospitalières pour différentes maladies respiratoires ont été recueillies au cours des 15 mois qui ont précédé la fermeture de l'usine, pendant la fermeture, et au cours des 6 mois qui ont suivi sa réouverture. Le nombre moyen mensuel d'admissions hospitalières d'enfants pour pathologie respiratoire a été trois fois plus important pendant les mois où les niveaux de particules étaient supérieurs à $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le nombre d'admissions hospitalières a été plus faible pendant la période d'arrêt de l'aciérie.

Les études dites de cohorte, ou études exposés-non-exposés, suivent sur 10 ans, 15 ans ou plus, des sujets sélectionnés selon leur niveau d'exposition à la pollution et calculent, à l'issue de cette longue période, la fréquence d'événements de santé (maladies respiratoires chroniques, cancers bronchiques, etc.) dans les différents groupes. Dans 6 villes des États-Unis, 8 111 adultes ont été suivis pendant environ 15 ans. Dans les villes les plus polluées par les particules fines, le risque de décès par cancers ou par maladies cardio-vasculaires et respiratoires était de 17 à 26 % plus élevé que dans les villes à l'air plus sain.

2. Notions de toxicocinétique et de toxicodynamique

Tous les polluants n'ont pas la même façon de visiter le corps. Ces corps étrangers y cherchent des affinités chimiques et se transforment au contact de la biologie humaine. Ils utilisent leurs caractéristiques pour migrer au mieux dans les organes. L'histoire de ces corps étrangers dans le corps est détaillée par la toxicocinétique et la toxicodynamique. * Ce que l'homme fait au toxique ; ce que le toxique fait à l'homme. * Ainsi pourrait-on distinguer ces deux disciplines.

La toxicocinétique étudie l'absorption des toxiques, leur distribution dans le corps, leur transformation et leur élimination. La toxicodynamique s'intéresse aux mécanismes d'action des toxiques.

L'exposition aux contaminants dépend de l'importance du contact (la quantité du polluant dans l'air, dans l'eau, les aliments..., la durée et la répétition de ce contact), mais aussi du taux de pénétration de ce contaminant dans le corps, ainsi que de la rapidité de sa transformation et de son élimination. Au terme d'un complexe enchaînement de phénomènes un contaminant toxique parvient aux cellules sensibles dont il va perturber le fonctionnement.

Les toxiques pénètrent principalement par le tube digestif et les poumons. De la bouche au rectum, le tube digestif est perméable aux substances qui entrent via l'eau, les aliments ou les poussières ingérées. Les toxiques gagnent ensuite le foie par la circulation veineuse. Chez l'adulte, les poumons offrent, eux, de l'ordre de 8 000 cm² de surface d'échange entre l'environnement aérien et notre corps. Les gaz solubles et les substances absorbées sur les particules fines qui pénètrent loin dans l'appareil respiratoire, vont ainsi s'infiltrer dans le courant sanguin ou lymphatique. À défaut, elles contourneront l'obstacle

et parviendront à leur fin en étant dégluties par le tube digestif. La peau est un vecteur de pénétration moins important car elle est protégée par sa couche cornée. Certains toxiques peuvent néanmoins choisir cette voie, surtout s'ils sont solubles dans les graisses (liposolubles) dont l'épiderme et le derme sont riches.

Le taux de pénétration d'un toxique dépend de sa forme physique. Un liquide ou un gaz est mieux absorbé qu'un polluant piégé dans une particule. La composition chimique joue également un rôle. Certains sels de plomb très solubles, par exemple, ont une plus grande capacité de pénétration que le plomb métallique. Et le polluant entrera d'autant mieux qu'il rencontrera une résistance moindre. La muqueuse intestinale ou respiratoire d'un enfant est plus perméable que celle d'un adulte.

Le foie et le rein ont une grande capacité de fixation des polluants. C'est dans le rein qu'on retrouvera la plus grande part du cadmium pénétrant dans l'organisme. Certains toxiques liposolubles comme les dioxines (voir p. 302) préféreront le tissu adipeux, la glande mammaire ou le cerveau ; qui est heureusement préservé par une barrière formée de vaisseaux capillaires moins perméables que dans d'autres parties du corps. Le tissu osseux est un espace important de stockage de certains polluants, tel le plomb. La thyroïde a une affinité particulière pour l'iode, d'où la fragilité particulière de cet organe en cas de pollution accidentelle à l'iode radioactif. C'est pourquoi on distribue des comprimés d'iode aux habitants vivant au voisinage d'installations nucléaires. En cas d'accident majeur, ils pourraient ainsi saturer préventivement leur thyroïde d'iode non radioactif.

Le corps humain réussit toujours à éliminer les toxiques après un temps plus ou moins long. La *demi-vie* est le temps pendant lequel la dose initiale du polluant est réduite de moitié. Le plomb a ainsi une demi-vie de 3 à 4 semaines dans le sang, mais de 10 ans dans l'os, d'où il est très difficile à déloger. L'urine est la voie principale d'élimination, mais la bile (produite dans le foie et stockée dans la vésicule avant d'être éliminée avec les selles auxquelles elle donne leur coloration), ainsi que l'air exhalé des poumons (pour certains gaz et liquides volatils) jouent aussi un rôle important. Le lait maternel est aussi un exutoire mais il constitue pour le bébé allaité un risque non négligeable.

Le foie, en premier lieu, mais aussi le poumon, l'estomac, l'intestin, la peau et les reins transforment les produits chimiques pour

que le corps les élimine plus facilement. Cette *biotransformation*, est un mécanisme naturel de désintoxication. Cependant, ces réactions chimiques provoquent des sous-produits, les métabolites, qui peuvent s'avérer plus toxiques que le polluant non transformé. Ainsi, le benzo(a)pyrène, toxique « chef de file » de la famille des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (voir p. 306), est transformé dans le foie en un dérivé très réactif qui peut provoquer la formation de cancers.

Les toxiques agissent sur les protéines, les lipides ou encore les acides nucléiques du corps humain et peuvent provoquer différents effets tels qu'un cancer ou une malformation congénitale si la cellule attaquée fait partie du système de reproduction (les ovocytes chez la femme, ou les précurseurs des spermatozoïdes chez l'homme, voir aussi p. 277). Certains toxiques cancérogènes altèrent directement les gènes des noyaux cellulaires. On les dit *génétoxiques*. D'autres ont pour seule mission de favoriser l'effet des toxiques cancérogènes en augmentant par exemple leur taux de pénétration, en réduisant l'efficacité des systèmes de contrôle du développement des cellules cancéreuses ou en produisant des réactions inflammatoires qui augmentent le nombre de cellules « anormales », potentiellement cancéreuses. Certains hydrocarbures aromatiques polycycliques sont des exemples de cancérogènes *génétoxiques*. La dioxine émise lors de l'accident industriel de Seveso, ville italienne où une usine a relâché en 1976 un énorme panache de ce polluant dans l'atmosphère, est en revanche un toxique cancérogène qui agit par un mécanisme non *génétoxique*. L'amiante et certains herbicides ont également cette forme d'action « indirecte ».

L'absorption de toxiques provoque toute une gamme d'autres effets. Dans les voies respiratoires, par exemple, il peut en résulter une hypersensibilité de la muqueuse respiratoire qui peut provoquer un asthme ; des fibroses (comme la silicose ou l'asbestose de certains mineurs) ou une bronchite chronique résultent aussi de l'agression à certains polluants inhalés. Le foie, malgré sa grande aptitude à régénérer ses cellules atteintes, peut souffrir d'une accumulation de lipides (stéatose), d'une nécrose plus ou moins étendue (hépatite), avec formation de tissus fibreux cicatriciels (cirrhose). La dioxine de Seveso agit sur le système immunitaire. D'autres polluants perturbent la transmission de l'influx nerveux, la fonction d'épuration des cellules rénales, l'aptitude à la reproduction.

3. Les mécanismes de l'infection

L'agression de l'homme par une bactérie, un virus, un parasite ou un champignon peut conduire à une *infection* si le micro-organisme est suffisamment résistant pour survivre dans le corps. Car celui-ci dispose d'efficaces systèmes de défense. Toute infection n'entraîne pas nécessairement des troubles. Très fréquemment, elles peuvent rester latentes et n'être repérables qu'au moyen d'analyses biologiques ; les sujets sont dits « infectés asymptomatiques », ce qui ne les empêche pas toujours d'être contagieux. D'autres infections, au contraire, se manifestent rapidement, et conduisent parfois à la mort. Ainsi, par exemple, en 1994, l'eau de boisson de la ville de Los Angeles a été contaminée par un parasite (*Cryptosporidium parvum*). Alors que cette eau était bue quotidiennement par des dizaines de milliers de personnes, les troubles sont apparus presque exclusivement chez des sujets immunodéprimés, notamment des personnes infectées par le virus de l'immunodéficience humaine (VIH) ; les autres sujets infectés n'ont rien senti.

La pénétration d'un agent infectieux dans le corps peut se faire selon différentes voies. L'ingestion d'eau ou d'un aliment contaminé est une modalité très fréquente d'infection, de même que le contact mains-bouche. L'inhalation de germes peut être à l'origine de grandes épidémies : c'est ainsi que se répand à grande vitesse le virus de la grippe, à partir des postillons expectorés par la toux des sujets contagieux ; mais l'infection par inhalation peut aussi toucher des gens de manière plus sporadique comme, par exemple, des sujets fragiles qui deviennent malades du fait de systèmes de climatisation contaminés par la bactérie responsable de la « maladie du légionnaire » (ou légionellose). La

pénétration cutanée se fait à l'occasion d'une blessure, d'une piqûre par un insecte transportant des agents pathogènes, ou lors d'une transfusion sanguine (ou l'injection d'héroïne, voie majeure pour le développement de l'infection par le virus de l'hépatite C). La contamination lors de rapports sexuels a aussi ses adeptes...

L'homme dispose de plusieurs moyens de défense contre les micro-organismes. Les premiers sont mécaniques (la peau, lorsqu'elle est intacte et propre, est une barrière quasi imperméable). Si, malgré ce premier obstacle, il y a pénétration d'un agent biologique étranger dans un tissu (le poumon profond, l'intestin, le derme...), l'organisme réagit en « envoyant » sur place des cellules sanguines spécialisées et en produisant diverses substances chargées de circonscrire le foyer et de détruire l'intrus. Les vaisseaux sanguins locaux s'enflent alors pour faciliter cette arrivée des défenseurs cellulaires et humoraux, ce qui se manifeste par une *inflammation* (rougeur, chaleur, douleur).

Certains mécanismes de défense sont spécifiquement adaptés à chaque type de pathogènes. Les anticorps circulant dans le sang jouent un rôle important dans l'inactivation et la destruction des agresseurs. Ils sont produits très rapidement, en cas de besoin, par une famille de cellules sanguines, les lymphocytes B, quand ceux-ci ont été « sensibilisés » antérieurement aux antigènes de l'agresseur (c'est le principe de la vaccination). Les lymphocytes de type T, quant à eux, organisent et régulent les mécanismes de *phagocytose* (c'est l'ingestion des intrus). Certains autres globules blancs et les macrophages, qui arrivent sur les lieux de l'infection en provenance du sang, jouent ce rôle de « cantonniers », et vont tenter d'inactiver et de digérer les cellules étrangères. Pendant ces combats obscurs, nos troupes de défense ne cessent d'échanger des messages codés, grâce à la production de substances chimiques qui facilitent la collaboration entre les différentes cellules chargées de l'immunité, comme les cytokines et les interférons (ces derniers interviennent particulièrement dans la défense contre les agressions virales).

Comment les micro-organismes pathogènes, ceux qui finissent par vaincre tous ces obstacles, nous rendent-ils malades ? Différents mécanismes sont en jeu et dépendent du type d'agresseur. Certaines bactéries peuvent produire des enzymes ou des toxines. Soit des exotoxines capables d'induire à distance des troubles, même à très faibles

doses (comme c'est le cas pour la toxine du botulisme, du tétanos ou du choléra) ; soit des endotoxines, qui sont libérées de manière perverse alors même que nos « cantonniers » ont réussi à détruire les bactéries intruses (par exemple, pour une espèce de bactérie du genre *salmonella*, c'est son endotoxine, à laquelle est très sensible le cerveau, qui est responsable de la fièvre typhoïde). La multiplication bactérienne, à l'intérieur ou à l'extérieur de nos cellules, est particulièrement dommageable pour l'organisme infecté. De même, les virus, qui se développent nécessairement dans les cellules de l'hôte infecté en tournant à leur avantage la machinerie cellulaire, entraînent une destruction des cellules colonisées ou la perte de leur fonction. Le mode d'expression de l'infection par les parasites dépend beaucoup du site de l'infection et de multiplication ou de développement parasitaire. Par exemple on souffrira d'une diarrhée aiguë provoquée par la destruction des cellules intestinales par le *cryptosporidium*, alors que l'agent du paludisme provoquera l'éclatement des globules rouges colonisés et que celui de l'onchocercose aboutira à une atteinte rétinienne, conduisant à la redoutable « cécité des rivières ».

L'hôte, l'agresseur, l'agression, telle est la triade de notre permanente adaptation à notre environnement biologique.

4. Méthodes usuelles pour déterminer les normes de qualité d'un milieu

Lorsqu'un agent quelconque (produit chimique, rayonnement, microbe...) a fait la preuve de son potentiel toxique, se pose la question d'en prévenir l'effet chez les individus. Il existe une solution radicale lorsque l'agent est créé par l'homme : en empêcher la production. Nombreux sont en effet les produits dont la fabrication a été interdite. Prenons un cas d'école : « A-t-on réellement besoin de telle molécule artificielle destinée à colorer en bleu des aliments, alors qu'il existe un doute sur sa capacité à induire un effet toxique, même minime, chez les consommateurs ? » La réponse est évidemment non.

Mais les choses ne sont pas toujours aussi simples. Certains produits ont, tel le dieu Janus, une double face, à la fois pourvoyeurs d'avantages certains et non dénués de toxicité. Par exemple, les insecticides utilisés à la maison, bien utiles notamment pour se prémunir des piqûres d'insectes, sont susceptibles d'être toxiques pour l'utilisateur, raison pour laquelle il est généralement recommandé sur l'emballage de ne pas en absorber. On peut aussi discuter des avantages collectifs de l'usage de certains produits. Ainsi, les pesticides d'usage domestique ou les médicaments donnés en cas de maladie des animaux de boucherie, par exemple, nous garantissent une certaine sécurité d'approvisionnement de nos aliments. Or, il reste une certaine concentration de ces produits dans l'air de la pièce où a été dispersé l'insecticide, ou des reliquats des produits utilisés dans nos aliments pour le second cas. Des dispositions doivent être prises de telle sorte que cela n'occasionne pas d'effet nocif.

Ces deux exemples illustrent des situations, nombreuses, où on est donc amené à définir par ces exemples une valeur de concentration dans l'air ou dans les aliments qui correspond à une dose n'ayant pas d'effet nocif pour notre organisme. On paraphrase ici la formule du génial alchimiste suisse Paracelse au XVI^e siècle : « c'est la dose qui fait le poison ». On peut remarquer qu'elle s'applique de manière universelle. Quoi de plus dénué de toxicité que l'eau la plus pure ? Pourtant, se mettre en position d'ingérer 120 litres de cet anodin breuvage en une heure conduirait à une mort quasi certaine, ce qui arriva il y a quelques années à une adepte d'une secte prônant la purification par l'eau. Nous évitons tous les jours cette issue fâcheuse en buvant des quantités plus raisonnables : nous restons en deçà du seuil de toxicité.

Les pratiques de protection du public par les organismes ou institutions qui en ont la charge sont basées sur des principes similaires, à une importante exception près discutée plus loin. Les chercheurs, qui fournissent les bases scientifiques aux autorités qui édictent la réglementation, ont souvent recours, pour établir les niveaux d'exposition sans effet délétère, à l'expérimentation sur des animaux de laboratoire. Des groupes de rats, par exemple, reçoivent des doses progressivement décroissantes du toxique étudié, jusqu'à mettre en évidence que les animaux, malgré la dose reçue, se portent parfaitement bien. C'est la dose sans effet nocif observé, souvent désignée par son acronyme, la DSENO¹. Les chercheurs essaient ainsi de cerner au mieux le phénomène de seuil et c'est donc la plus forte dose sans effet qui est recherchée. À l'inverse, on peut aussi utiliser la dose la plus faible pour laquelle est observé un effet toxique (DMENO)².

Mais ce qui vaut pour une lignée précise, génétiquement homogène, d'animaux de laboratoire, n'est pas forcément valable pour l'ensemble de l'espèce considérée, dont certains représentants peuvent être beaucoup plus sensibles à la toxicité de la molécule étudiée. De plus, l'homme peut réagir différemment du rat, ou de la souris ou des autres animaux de laboratoire habituellement testés. On considère, par prudence, que l'homme est plus sensible aux effets nocifs d'un

1. On voit fréquemment apparaître dans la littérature scientifique en français (sic) la dénomination anglo-saxonne NOAEL pour No Observed Adverse Effect Level.

2. LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level) pour les Anglo-Saxons.

agent donné que la lignée la plus sensible de l'espèce testée la plus sensible. Cette attitude prudente peut être erronée dans certains cas, mais cette convention est préférable à l'erreur inverse. À partir de ces considérations, il est possible d'estimer une dose de la molécule ou de l'agent physique en cause à laquelle le public, y compris les sujets les plus sensibles du fait de leur constitution génétique ou de leur état physiologique (jeune enfant, personne âgée...), est susceptible d'être exposé en toute innocuité. Elle est ordinairement nommée dose journalière acceptable (DJA) ou dose journalière tolérable (DJT).

Cette DJA ne correspond pas exactement à la DSNEO définie plus haut. De même que dans la vie courante on prend des marges de sécurité face à un danger, par exemple en attendant qu'un aliment chaud soit suffisamment refroidi avant de le porter à la bouche. De la même façon, on va diviser la DSENO par deux facteurs de « sécurité », le premier (FS_1) pour tenir compte de la sensibilité supposée plus grande de l'espèce humaine (variabilité interespèce), le second (FS_2) pour tenir compte de l'extrême diversité de la population humaine (variabilité intra-espèce).

Ces facteurs de sécurité appelés « facteurs d'incertitude » sont souvent fixés à 10, de manière fort empirique. Autrement dit, la DJA est la dose la plus forte sans toxicité, divisée par 100. Si l'on ne dispose pas d'une DSENO mais d'une DMENO, on rajoute un facteur de sécurité (FS_3) supplémentaire, dont la valeur dépend de la gravité de l'effet nocif mis en évidence (elle varie de 2 à 10 habituellement). On a donc à la fin :

$$\text{Dose Journalière Acceptable} = \frac{\text{DMENO}}{FS_1 \times FS_2 \times FS_3}$$

Fixer à 10 l'ampleur des facteurs de sécurité est justifié par des observations expérimentales. Lorsqu'une circonstance précise l'impose, les experts sont amenés ou bien à donner une autre valeur à l'un ou l'autre des facteurs d'incertitude ou de sécurité ou bien à en rajouter d'autres. Quoi qu'il en soit, cette méthode est appliquée depuis très longtemps à tous les types d'effets toxiques (des cancers à de simples irritations bronchiques par exemple) et ne semble pas avoir provoqué de dommages observables sur la santé publique.

Un domaine fait exception, l'évaluation des doses considérées comme acceptables d'agents cancérogènes capables d'endommager le

matériel génétique (cancérogènes dits « génotoxiques »), autrement dit l'ADN de nos chromosomes. C'est le cas notamment des rayonnements ionisants (rayons X ou gamma par exemple) et de certains produits chimiques. On considère qu'il n'y a pas de seuil d'innocuité pour ces agents, et que même pour une dose infinitésimale, il existe un risque associé, lui aussi extrêmement faible. Dans ce cas, on détermine non plus une DJA, mais une dose, appelée dose virtuellement sûre (DVS), correspondant à un risque considéré comme « acceptable ».

Acceptable ? Une manière de fixer les limites de l'acceptable est réglementaire. Par exemple, la réglementation de l'Agence américaine de l'Environnement admet qu'une probabilité inférieure à un millionième (10^{-6}) de mourir d'un cancer, du fait d'une exposition involontaire à un cancérogène de ce type, constitue un risque acceptable. Cette probabilité s'ajoute à la probabilité « spontanée » de mourir d'un cancer, qui est *grosso modo* de 25 % pour un individu moyen dans les pays développés. Cette notion de l'acceptabilité est bien sûr controversée, les uns la trouvant trop laxiste, les autres au contraire la jugeant ridiculement faible et économiquement insupportable. On le voit, il y a matière à débat. Selon les pays, cette référence réglementaire peut varier, dans un sens en général moins sévère (1 cent-millième par exemple, ou 10^{-3} , voire 10^{-4}) ou ne pas faire l'objet d'une réglementation, les risques « acceptables » étant fixés par les autorités responsables au cas par cas, comme en France à l'heure actuelle.

À partir de l'estimation des DJA ou des DVS, il est possible de proposer des valeurs limites de contamination d'un milieu, sous un certain nombre d'hypothèses concernant la fréquence et l'intensité des expositions. Ainsi, par exemple, pour définir une concentration maximale admissible de nitrates dans l'eau de boisson, en admettant que celle-ci apporte 50 % des nitrates ingérés (le reste de l'apport provenant des aliments solides et principalement des légumes arrosés avec la même eau), l'objectif est de ne pas dépasser une DJA de 3,65 mg d'ion nitrate par kg de poids corporel et par jour ; cela conduit à la valeur de 50 mg d'ions nitrates/l³.

3. Pour effectuer le calcul, on admet que le poids moyen est de 60 kg d'où un apport total journalier à ne pas dépasser = 219 mg) et qu'un peu plus de 2 litres d'eau sont bus quotidiennement.

Au final, il n'existe pas de « norme » d'exposition, entendue au sens réglementaire, qui ne soit aussi le reflet de la situation économique et technique du moment. Les conditions d'établissement des normes ne sont donc que partiellement déterminées par des considérations sanitaires, et elles sont susceptibles de changer dès lors que des avancées scientifiques, techniques et des conditions économiques favorables le permettent. On peut admettre qu'il ne servirait à rien d'édicter des normes inapplicables en pratique. On voit aussi clairement que la mise en œuvre d'un certain niveau de précaution est essentiellement de nature politique dans un cadre économique et technique donné. Considérons deux exemples pour illustrer ce point. La réutilisation des eaux usées (REU) traitées dans des stations d'épuration peut être un moyen intelligent de préserver des eaux de boisson de très haute qualité, en ayant recours à de l'eau usée épurée (EUE) pour l'irrigation. L'Organisation mondiale de la santé a formulé à la fin des années quatre-vingt des recommandations quant à la qualité de ces EUE, jugées garantir l'absence de danger microbiologique. Les normes en vigueur aux États-Unis, dans le riche État de Californie sont considérablement plus draconiennes. L'OMS est critique sur ces valeurs, considérant qu'elles sont inutilement contraignantes, ce qui conduit de nombreux États dans le monde à ne pas encourager la REU car celle-ci serait alors très coûteuse. Une conséquence pratique paradoxale de cette situation est qu'un grand nombre de (grands et petits) agriculteurs ont recours, pour l'irrigation, à des eaux de rivière de qualité bien plus médiocre que celle qui résulterait de l'application des recommandations de l'OMS. La France, dans ce débat scientifique et « politique », est du côté de l'OMS.

Un autre exemple de cette situation, particulièrement « sensible » est donné par la réglementation vis-à-vis des rayonnements ionisants d'origine humaine. Au cours des dernières années, la valeur de la dose cumulée à ne pas dépasser sur une année, pour le public, a été abaissée par la réglementation d'un facteur 5 (de 5 à 1 mSv⁴), à l'initiative

de l'Union européenne, en s'appuyant sur les travaux d'un comité international d'experts de haut niveau, la Commission internationale de protection radiologique. Les industriels du nucléaire n'ont pas fait d'objection, ayant déjà acquis les moyens à mettre en œuvre pour limiter leurs rejets de radio-éléments dans l'environnement à un niveau permettant de rester au-dessous de cette limite de dose pour les riverains de leurs installations. Cette décision a été au demeurant critiquée par de hautes autorités scientifiques soulignant que rien sur le plan du risque ne justifiait l'abaissement des limites de dose. Ces scientifiques rejetaient en particulier le concept d'absence de seuil à ces faibles niveaux de dose. Fait intéressant, l'excès de risque de survenue de cancer radio-induit pour la nouvelle dose de 1 mSv reçue la vie durant est de un dix millièmes (10⁻⁴), bien au-dessus du risque considéré comme acceptable par les Américains. Il est néanmoins considéré comme acceptable par tous les États qui l'ont adoptée (y compris les États-Unis) en vertu de deux arguments : en premier lieu, une telle dose, atteinte exceptionnellement, ne représente que moins de la moitié de l'exposition naturelle aux rayonnements ionisants (radon, rayonnement cosmique, radio-éléments naturels contenus dans le sol, l'eau et les aliments, au total 2,3 mSv par an en moyenne). Deuxième argument, de nature économique et politique : un abaissement supplémentaire rendrait impossible toute industrie nucléaire (pas seulement la production d'énergie).

En résumé, une « norme » de qualité d'un milieu ou d'exposition des personnes a pour ambition affichée de protéger la santé publique. Chacun peut comprendre, cependant, qu'elles ne sont pas gravées dans le marbre pour l'éternité. Les données scientifiques évoluent ; les contraintes techniques et économiques évoluent ; les perceptions sociales évoluent. Or, ces divers mouvements ne vont pas nécessairement dans le même sens. Le dépassement modéré d'une « norme » est certes condamnable d'un point de vue réglementaire. Le plus souvent, elle n'induit pourtant aucun risque pour la santé, du fait des facteurs de sécurité (ou d'incertitude) incorporés dans la norme. Il arrive pourtant que l'inverse soit vrai : une norme, même respectée, ne protège pas toujours suffisamment contre les effets nocifs d'une exposition car, lorsqu'elle a été édictée, on ne connaissait pas tout ce que la science permet de savoir 10 ou 15 ans plus tard.

4. Voir p. 312 la définition des unités de mesure du risque lié aux radiations ionisantes.

Les exemples de telles situations ne sont pas rares, depuis les valeurs jugées « sans danger » du plomb dans le sang des enfants, ou les normes de qualité de l'air pour les particules.

Une « norme », cadre de l'action publique qui sert de référence pour de nombreux acteurs : industriels, politiques, associatifs..., ne peut pas évoluer au même rythme accéléré que celui des découvertes technologiques et scientifiques. Parfois, ce « décrochage » peut être source de tensions vives.

5. Procédures d'autorisation de nouvelles substances chimiques

Nous vivons dans un environnement où de l'ordre de 18 millions de substances chimiques sont connues. Nous en côtoyons quelque 100 000 d'usage généralisé. En Europe, 1 885 substances sont produites ou importées à plus de 1 000 tonnes par an. Près de 1 500 substances nouvelles sont découvertes chaque année. Des règles ont été fixées pour soumettre ces substances nouvelles à un contrôle préalable à leur mise sur le marché, afin d'évaluer et de maîtriser les risques qui leur sont éventuellement associés.

« On entend par "substances" les éléments chimiques et leurs composés tels qu'ils se présentent à l'état naturel ou tels qu'ils sont obtenus par tout procédé de production contenant éventuellement tout additif nécessaire pour préserver la stabilité du produit et toute impureté résultant du procédé [...]. On entend par "préparations" les mélanges ou solutions composés de deux substances ou plus » (article R231-51 du code du Travail).

Les procédures d'autorisation de nouvelles substances chimiques sont déterminées par différents textes législatifs ou réglementaires français souvent en application de Directives de l'Union européenne.

En Europe...

Le contrôle des substances chimiques dangereuses en Europe repose sur : 1) un système commun de classification ; 2) un système d'information des consommateurs et des travailleurs ; 3) un système

de limitation de mise sur le marché ; 4) des prescriptions en matière de protection des travailleurs. Ces dispositifs reposent sur une procédure d'évaluation des risques des substances nouvelles (et existantes).

La réglementation communautaire, comme les dispositions françaises, traite des substances chimiques par « familles d'usage » ou par « familles de risques ». Les premières correspondent à des préparations ou des spécialités, et non les substances chimiques de base qui les constituent. Sont ainsi considérés les produits à usage sanitaire (médicaments humains ou vétérinaires, produits cosmétiques, insecticides...), les produits à usage alimentaire (objets et matériaux en contact avec les denrées, additifs, produits de nettoyage...), les produits à usage agricole (fertilisants, pesticides...), et les produits à usage industriel (produits radioactifs, matières explosives...). Les « familles de risque » sont définies pour réduire les risques pour l'homme et l'environnement en général, et plus spécifiquement pour le travailleur et le consommateur. Ces dispositions procèdent d'une démarche d'homologation préalable auprès d'instances agréées, ou d'autorisations de mise sur le marché ; elles font aussi appel à un régime de listes d'interdiction ou, au contraire des listes positives.

Une Directive de 1967 (67/548/CEE) définit 15 types de risques des produits chimiques (explosifs, inflammables, toxiques pour la reproduction, cancérogènes...), pour lesquels le producteur ou l'importateur doit notifier la substance à une autorité nationale compétente (désignée par chaque État membre) avant mise sur le marché et remettre un dossier technique et scientifique permettant d'apprécier l'impact potentiel sur l'homme et l'environnement. Pour des substances « prioritaires » (produites ou importées à des quantités excédant 1 000 tonnes pour l'ensemble de l'Union), une directive de 1993 stipule que les États membres sont responsables de l'évaluation des risques, selon des principes arrêtés au niveau communautaire. Cette disposition a pour objet de ne pas introduire d'inégalité dans le marché intérieur ou dans la protection de l'homme et de l'environnement sur l'ensemble de l'Union.

Des dispositions particulières visent à protéger la santé des consommateurs. D'une manière générale, pour les substances chimiques comme pour les autres produits, les producteurs de tous biens destinés aux consommateurs doivent s'assurer qu'ils mettent

sur le marché des produits qui, dans des conditions normales ou vraisemblablement prévisibles, présentent des risques aussi restreints que possible eu égard à leurs conditions d'utilisation. Ils doivent aussi, tout comme les distributeurs, fournir aux consommateurs les informations nécessaires pour qu'ils ne s'exposent pas à des risques (étiquetage). Ils doivent enfin mettre en place des procédures de surveillance leur permettant d'apprécier l'apparition de risques nouveaux afin de pouvoir prendre les mesures qui apparaissent nécessaires, y compris le retrait du marché du produit en cause. L'ex-Direction générale XXIV de la Commission européenne est chargée de l'application générale de ces dispositions relatives à la protection de la santé des consommateurs.

Une Directive « cadre » européenne de 1989 arrête les principes généraux pour la prévention des risques professionnels, l'information, la formation et la consultation des travailleurs ou de leurs représentants. Il est clair en effet que les agents impliqués dans la production, la distribution et l'utilisation des substances chimiques encourent des risques d'exposition professionnelle particulière qui requièrent une prévention et une information appropriées. C'est loin d'être toujours le cas, comme on l'a vu plus haut. Ainsi, par exemple, l'usage professionnel de quatre des éthers de glycols est autorisé alors qu'elle est interdite dans les produits domestiques du fait de leur toxicité sur la reproduction (voir p. 297). Cette directive cadre a été suivie d'un ensemble de « directives filles » concernant différents aspects de cette politique (protection contre les cancérogènes, protection des femmes enceintes, des salariés à contrat à durée déterminée...).

... et en France

Le dispositif français s'inspire des mêmes principes mais, issu d'une ancienne tradition administrative, est caractérisé par une grande incohérence entre les politiques sectorielles (travailleur, consommateur, environnement), relevant d'instances parcellisées et souvent en compétition. On peut en effet recenser pas moins de 6 administrations centrales (principalement : la Direction générale de l'alimentation du ministère de l'Agriculture ; la Direction de la prévention des pollutions et des risques du ministère de l'Aménagement du territoire

et de l'Environnement ; la Direction générale de la concurrence et de la répression des fraudes du ministère de l'Économie et des Finances ; la Direction des relations du travail du ministère du Travail et des Affaires sociales, la Direction générale de la santé et la Direction de la Sécurité sociale pour le secrétariat d'État à la Santé) compétentes, chacune pour ce qui la concerne, en matière des conditions de production et de mise sur le marché des substances chimiques. Huit établissements publics (l'Agence de sécurité sanitaire des produits de santé, l'Agence de sécurité sanitaire de l'alimentation, l'Institut de veille sanitaire, l'Institut national de la consommation, l'Institut national de l'environnement et des risques, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, l'Institut français de recherche pour l'exploration de la mer, le Laboratoire national d'essai) interviennent chacun sur un segment particulier de la chaîne de contrôle et de surveillance des risques.

Trois structures associatives (de droit privé) jouent un rôle important dans les procédures visant à l'établissement de normes de mesure et de contrôle (l'Association française de normalisation, le Comité français d'accréditation, l'Institut national de recherche et de sécurité). Ce dernier (l'INRS) est en outre l'organisme agréé pour le contrôle, sous l'égide administrative du ministère chargé du Travail, des procédures de déclaration, classification, étiquetage et emballage des substances chimiques ; c'est lui qui, sur cette base, propose les dispositions à prendre au ministère du Travail. Beaucoup considèrent que cette fonction de contrôle ne devrait pas être confiée à un organisme dont le Conseil d'administration est, pour moitié, constitué de représentants des milieux industriels : juge et partie... Un rapport de l'Inspection générale des affaires sociales de 1999 a ainsi épinglé cette grave confusion des rôles.

• Contenu d'un dossier de toxicité d'une substance chimique nouvelle

Le producteur et le distributeur d'une substance doit constituer et remettre à un organisme agréé (l'INRS en France) un dossier comportant les éléments suivants :

– Nom de la matière active, propriétés physico-chimiques (du produit pur et, éventuellement, des préparations).

- Propriétés biologiques connues (mécanismes d'action, structures biochimiques cibles) et toxicocinétique (voir définition p. 246).
- Comportement dans l'environnement (type d'utilisation, formes de rejet et de dispersion dans les milieux).

– Toxicité :

1. Aiguë (moins de 7 jours) : doses (ou concentrations) létales 50 par voie orale, intrapéritonale, cutanée et respiratoire, sur différentes espèces d'animaux de laboratoire.

2. Subaiguë (7 j à 3 mois) selon différentes voies de contact ; analyse de survie et de comportement des animaux de laboratoire ; étude des perturbations sur certains tissus et le sang.

3. Subchronique (3 à 6 mois) et chronique (au-delà de 6 mois). Sont étudiés en particulier : le pouvoir irritant sur la peau et les muqueuses de contact ; le pouvoir allergisant et les troubles de l'immunité ; l'action sur la reproduction¹ ; la neurotoxicité ; l'action sur le foie et le rein ; le pouvoir cancérogène...

Pour chacun de ces effets, plusieurs niveaux d'exposition doivent être testés contre des témoins non exposés, sur au moins deux espèces animales, avec les deux sexes. Cela permet en particulier d'établir des Doses Maximales sans Effet Nocif Observé (DMSEO) ou des Doses Minimales à Effet Nocif Observé (DMEO)².

En parallèle à ces essais *in vivo* sont réalisées des études *in vitro* sur du matériel cellulaire d'origine animale ou humaine mis en culture (lymphocytes, hépatocytes, fibroblastes, macrophages alvéolaires...). Sont étudiées la survie cellulaire, la production de métabolites ou de cytokines (définition p. 246), et les altérations du matériel génétique (cassure de brins de chromosomes, anomalie du taux normal de mutation lors de la division cellulaire). Ces tests *in vitro* sont souvent utilisés comme prédictors de risques de cancérogenèse (si la substance est mutagène : c'est le principe du test de mutagenèse

1. À titre d'exemple, la liste suivante résume les principaux points relatifs à la reproduction qui peuvent faire l'objet d'une description détaillée : délai de conception, taux de grossesse et de naissance, durée de gestation, nombre de descendants, mortalité périnatale, sex ratio de la descendance, poids de naissance et progression postnatale, nature et taux de malformations congénitales, fertilité de la descendance... (source : US-EPA Federal Register, 31 oct. 1996 : Reproductive Toxicity risk assessment).

2. Les acronymes anglais correspondants sont mieux connus : NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) et LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level). Voir p. 252.

d'Ames) ou de tératogenèse (si les cellules de la reproduction peuvent être atteintes).

Des approches de modélisation des capacités toxicologiques des substances se sont développées récemment (analyses dites « QSAR », Analyse Quantitative des Relations Structure-Activité), fondées sur la prédiction de leurs caractères toxicocinétiques et toxicodynamiques, à partir de leur structure physico-chimique.

Cette gamme de tests de criblage des « dangers » est mise en œuvre de manière plus ou moins complète par l'industriel producteur de la substance. L'organisme agréé par les pouvoirs publics fonde son jugement sur le dossier technique et scientifique déposé, pour proposer des autorisations, des restrictions de production ou d'usage. Quoi qu'il en soit, le rythme actuel de production de nouvelles substances chimiques ne permet pas de réaliser sur toutes des essais de toxicité à long terme sur l'ensemble des fonctions et organes majeurs. De plus, après leur diffusion dans le milieu, ces substances peuvent interagir avec d'autres et aboutir à des composants aux pouvoirs qu'il est impossible d'évaluer précisément.

C'est pourquoi, malgré tous ces tests de criblage amont, la surveillance aval est nécessaire. Elle s'appuie notamment sur le réseau des Centres antipoison des hôpitaux et, depuis la loi de sécurité sanitaire du 1^{er} juillet 1998, sur l'Institut de veille sanitaire et les nouvelles Agences de sécurité sanitaire de l'alimentation et des produits de santé.

Une multitude d'instances de conseil assistent les pouvoirs publics dans leurs missions, parmi lesquels on citera, parmi d'autres, le Conseil supérieur d'hygiène publique de France et la Commission de toxicovigilance, relevant du ministère en charge de la Santé ; le Comité de la prévention et de la précaution et la Commission d'évaluation de l'écotoxicité des substances chimiques, relevant l'un et l'autre du ministère chargé de l'Environnement ; le Conseil supérieur de la prévention des risques professionnels et la Commission nationale d'hygiène et de sécurité du travail en Agriculture, sous l'autorité respective des ministères en charge du Travail et de l'Agriculture ; et la Commission de sécurité des consommateurs, qui dépend du puissant ministère de l'Économie et des Finances.

On comprend, à cet énoncé (pourtant incomplet !), le verdict prononcé par une mission parlementaire qui, en 1998, proposait des

mesures visant à réduire ces cloisonnements afin de forger une vision globale et une politique cohérente dans le domaine de la santé et de l'environnement (mission parlementaire d'Odette Grzegorzulka et André Aschieri, novembre 1998⁴). Une clarification est nécessaire. La création de l'Agence de sécurité sanitaire environnementale est l'occasion de procéder à cet urgent toilettage.

4. Propositions pour un renforcement de la sécurité sanitaire environnementale, Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques, Paris 1998.

6. La reconnaissance des maladies professionnelles

Il n'existe pas de mesure réelle de l'ensemble des pathologies issues des risques auxquels sont exposés les travailleurs. Le seul indicateur disponible concerne la réparation des maladies professionnelles reconnues comme telles par l'Assurance accidents du travail et maladies professionnelles de la Sécurité sociale (cf. figure 1-5., p. 76). Dans le système français, une affection provoquée par un agent toxique de nature chimique, physique ou microbienne peut être reconnue comme étant « professionnelle » selon deux voies ; une voie principale et une voie complémentaire.

Le système des tableaux de maladies professionnelles^{1, 2} représente la voie principale. La maladie d'un salarié est présumée d'origine professionnelle dès lors que les critères d'un « tableau » fixés par décret sont réunis (nature de la maladie et nature des travaux effectués). Cette condition est nécessaire, mais elle n'est pas suffisante, car d'autres critères doivent être simultanément remplis :

- Si l'affection ne survient pas au moment où le travailleur est encore exposé aux risques, elle doit être médicalement constatée avant que ne s'achève un intervalle de temps appelé « délai de prise en charge ».

- La victime doit apporter la preuve de son exposition habituelle au risque. Dans certains cas, les travaux effectués par la victime doivent être explicitement mentionnés dans une liste limitative (ou liste

indicative) de travaux permettant la reconnaissance de la maladie professionnelle considérée.

- À ces dispositions générales s'ajoutent, pour certains tableaux, des conditions particulières comme par exemple une durée minimale d'exposition à l'agent toxique qui provoque l'affection.

- Il appartient à la victime (ou à ses ayants droit) de faire la déclaration administrative de son affection à l'organisme compétent de Sécurité sociale.

Dans le cas de la Fonction publique où ne s'applique pas le principe de la *présomption d'origine*, l'agent doit apporter, au comité médical chargé de statuer, la preuve du lien direct entre le travail et l'affection.

Le système complémentaire³ a été constitué en 1994 afin de palier les insuffisances des tableaux de maladies professionnelles (article L 461-3 du code de la SS). C'est un système de rattrapage qui permet d'examiner les dossiers de victimes ne répondant pas à tous les très stricts critères médico-légaux exigés par les tableaux de MP voire d'examiner les dossiers de victimes dont l'affection ne figure dans aucun des 106 tableaux de MP du système principal, mais pour lesquels il est possible de faire la preuve du lien essentiel et direct entre la pathologie et une exposition professionnelle, après avis motivé d'un *comité régional de reconnaissance des maladies professionnelles* (CRRMP). Ce système complémentaire a permis, en 1996, la reconnaissance de 505 cas de MP (chiffres provisoires).

À côté de ces deux systèmes de réparation et d'indemnisation, le code de la Sécurité sociale a prévu, dans son article L. 461-1, une déclaration obligatoire des maladies à caractère professionnel (MCP) par tout médecin en ayant connaissance. Cet enregistrement a été proposé pour permettre une meilleure connaissance épidémiologique de l'ensemble des maladies que les médecins considèrent comme provoquées par l'activité professionnelle, quelles que soient les modalités ultérieures de leur prise en charge. Bien qu'intéressant sur le papier, ce dispositif est peu opérationnel pour l'amélioration de la

1. Publication de l'INRS ND 2101 Les tableaux de maladies professionnelles.

2. <http://www.sdv.fr/aimt67/dossier/listemp.htm>

3. Article 7 de la loi n° 93-121 du 27 janvier 1993 portant diverses mesures d'ordre social.

prise en charge des maladies professionnelles et ne fournit que peu de signalements de nouvelles maladies qui pourraient faire ultérieurement l'objet d'un tableau de MP. Des expérimentations en cours montrent qu'il est possible d'améliorer nettement le nombre de déclarations des MCP par l'ensemble des médecins⁴.

7. Tableau de famille : les institutions de la santé au travail

Le Conseil supérieur de la prévention des risques professionnels

Cette institution quadripartite (représentants des organisations d'employeurs, de salariés ; administrations concernées : ministères chargés du Travail, de l'Agriculture, de la Santé, de l'Industrie, de l'Environnement – organismes spécialisés – ANACT, CNAM, INRS, OPPBTP – et personnes qualifiées – médecins, chercheurs, techniciens...) est présidée par le ministre chargé du Travail et exerce, depuis 1976, un rôle consultatif. Le suivi et la préparation des travaux du Conseil relèvent de la Direction des relations du travail (DRT) qui, au sein du ministère, est notamment chargée de la santé et de la sécurité des travailleurs. Lieu de concertation entre partenaires sociaux et pouvoirs publics dans le domaine de la prévention des risques professionnels, le Conseil est consulté sur les projets de textes législatifs et réglementaires relatifs à la santé et à la sécurité au travail ou à la qualité de l'environnement professionnel. Le Conseil comprend 6 commissions spécialisées (information, formation et organisation de la prévention ; ambiances de travail et risques chimiques ; risques physiques et mécaniques ; maladies professionnelles ; médecine du travail ; et bâtiment et travaux publics) qui ont pour rôle de préparer, au plan technique, les projets de réglementation ou d'action.

L'Inspection du travail

La fonction première de l'Inspection du travail, service de la Direction départementale du travail, est de contrôler le respect des dispositions du droit du travail dans l'entreprise et notamment de

4. Documents pour le médecin du travail, n° 79, 3^e trimestre 1999, p. 227 à 233.

celles concernant la sécurité et les conditions de travail. Il peut à cet effet dresser procès-verbal en cas de non-respect des règles de sécurité. Cependant, le nombre d'affaires classées sans suite par le parquet est de 75 %, ce qui représente un sérieux frein à l'action de contrôle des inspecteurs du travail. De plus, depuis plus de 10 ans, la Direction des relations du travail souhaite voir évoluer l'inspection davantage vers des missions de conseil et de partenariat avec les entreprises et moins vers une mission coercitive. En 1995, le taux de verbalisation dans le domaine de la santé et la sécurité au travail n'était que de 1 % alors qu'il était de près de 12 % pour des affaires de travail clandestin et de 11,5 % pour des affaires de fraudes à l'obtention des allocations chômage¹.

Les médecins inspecteurs du travail placés auprès de la Direction régionale du travail de l'emploi et de la formation professionnelle (DRTEFP) participent au contrôle de l'application de la réglementation en matière de médecine du travail et exercent une fonction de conseil auprès du directeur régional du travail et des inspecteurs du travail sur les questions de santé en milieu de travail. Des ingénieurs de prévention apportent un appui technique en matière de prévention aux inspecteurs et contrôleurs du travail dans des domaines techniques spécialisés (chimie, électricité, mécanique...).

Les organismes de Sécurité sociale

Les Caisses régionales d'assurance maladie (CRAM) agissent en qualité d'assureurs en gérant financièrement les risques « accidents du travail, maladies professionnelles, et doivent exercer un contrôle spécifique, tout en menant des actions d'incitation à la prévention dans les entreprises. Elles exercent des fonctions de conseil et de contrôle. Elles mettent en œuvre des mesures d'incitations financières. Gérant financièrement les risques « accidents du travail, maladies professionnelles, le régime général de la Sécurité sociale s'attache à promouvoir la prévention contre ces risques dans les entreprises. Les ingénieurs-conseils et les contrôleurs de sécurité des Caisses régionales d'assurance maladie ont le même droit d'entrée et d'enquête dans les entreprises rele-

vant du régime général de la Sécurité sociale que les inspecteurs du travail. Ils disposent également de mesures d'incitation financière sur les cotisations payées par les employeurs. Ils développent une importante activité de conseil technique auprès de l'entreprise mais peuvent aussi inviter l'employeur à prendre toute mesure justifiée pour la prévention (procédure d'injonction) et demander l'intervention de l'inspecteur du travail.

Dans un objectif de prévention en pluridisciplinarité, certaines CRAM ont créé des postes de conseiller médical auprès du service de prévention des risques professionnels. Ce type de poste est rare : il n'en existait que 4 en France en 1998. Les observations des ingénieurs-conseils et des contrôleurs de sécurité des Caisses régionales d'assurance maladie et les résultats des analyses et des mesures relatives aux ambiances de travail ainsi que les renseignements sur les risques inhérents aux entreprises sont transmis au directeur départemental du travail et de l'emploi compétent ainsi qu'au comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail concerné.

La Mutualité sociale agricole (MSA) joue le rôle de la CNAM. Elle assure la couverture des accidents du travail et des maladies professionnelles des salariés agricoles. Elle est aujourd'hui le seul régime de protection sociale à gérer en son sein la médecine du travail et la prévention des risques professionnels. Parallèlement des actions sont en cours pour que les exploitants agricoles bénéficient de cette politique de santé-sécurité au travail.

Des techniciens-conseils de prévention² exercent auprès de la Mutualité sociale agricole les mêmes fonctions que leurs collègues des CRAM. Ils interviennent auprès des petits propriétaires ou des salariés de petites exploitations d'un côté où la pression sociale fait accepter de plus en plus de risques et d'un autre côté auprès des salariés des entreprises de l'agroalimentaire affiliées au régime agricole où le constat n'est guère différent.

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles a pour rôle de contribuer à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles pour assurer la protection de la santé et la

1. *Santé et Travail*, n° 21, octobre 1997, p. 32 à 34.

2. *Santé et Travail*, n° 22, décembre 1997, p. 62 et 63.

sécurité de l'homme au travail. Il fait partie de l'Institution Prévention de la Sécurité sociale qui regroupe également la CNAMTS, les CRAM et Eurogip. L'INRS exerce ses activités au profit des salariés et des entreprises de toutes les branches d'activités dépendant du régime général de la Sécurité sociale. Fondé par la CNAM en 1947, l'INRS dispose de moyens de recherche et de laboratoires qui lui permettent d'étudier les différents aspects de la prévention (risques physiques, chimiques, sécurité des machines, ergonomie, etc.). Il procède aussi à des essais et certifications de matériels. Sa mission est de former et d'informer, d'apporter une assistance technique et médicale, de procéder à des études et des recherches dans les domaines de la prévention des accidents du travail ou des maladies professionnelles et de l'ergonomie. Par ailleurs, l'INRS constitue une banque de données grâce aux déclarations de substances chimiques nouvelles qui lui sont obligatoirement adressées avant leur mise sur le marché. Les pouvoirs publics ont agréé l'INRS pour le contrôle des substances chimiques nouvelles (voir p. 259) et pour la délivrance des attestations d'examen de type CE à l'obtention desquelles est subordonnée la possibilité de mettre sur le marché européen certaines machines ou certains équipements de protection individuelle.

La gestion de l'Institut est paritaire mais il est toujours présidé depuis plus de trente ans par un représentant du patronat. Son financement (380 environ à 400 millions de francs) provient du fonds de prévention de la Commission accidents du travail maladies professionnelles (CAT-MP) de la CNAMTS entièrement financé par les cotisations des employeurs. Ce mode de gestion et de financement attire sur l'INRS le reproche de manque d'indépendance vis-à-vis des intérêts économiques des industriels. Cette critique a atteint son apogée avec l'affaire de l'amiante. Selon le rapport sur l'amiante de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques présidé par le député Jean-Yves Le Déaut, « l'INRS, membre du comité permanent amiante qui avait préconisé l'usage contrôlé de l'amiante, n'a pas joué dans l'affaire de l'amiante le rôle qu'il aurait dû »³. Le récent rapport que l'IGAS (Inspection générale des affaires sociales)⁴ a rendu au ministre de l'Emploi, reconnaît la compétence

de ses chercheurs mais critique son manque d'ambition et d'ouverture, la gestion patronale de fait de l'organisme le conduisant à ne s'intéresser qu'aux thèmes qui ne heurtent pas les partenaires. L'IGAS fait ainsi une série de recommandations qui portent sur l'amélioration du fonctionnement interne de l'organisme, son ouverture sur l'extérieur et ses missions, l'évolution de son statut et ses relations avec l'État.

L'Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail (ANACT) et les Agences régionales pour l'amélioration des conditions de travail (ARACT)⁵. Créée en 1973 et placée sous la tutelle du ministère chargé du Travail, l'ANACT est un établissement public géré par un conseil d'administration comprenant des représentants des employeurs et des salariés, des représentants de l'État et des personnalités qualifiées. L'ANACT a pour mission d'aider les entreprises et les partenaires sociaux à analyser les conditions de travail et à élaborer des projets en vue de les améliorer. Elle intervient à la demande des acteurs de l'entreprise pour les aider à développer des projets innovants de changement concerté dans les domaines touchant au travail et à son organisation. L'ARACT a des objectifs et des champs de compétence identiques au niveau régional. Association composée des partenaires sociaux de la région, l'ARACT fait du conseil aux entreprises financé par l'État ou les collectivités territoriales, notamment en santé au travail.

3. *Santé et Travail*, n° 23, avril 1998, p. 13 à 16.

4. *Santé et Travail*, n° 28, juillet 1999, p. 5 et 6.

5. *Santé et Travail*, n° 29, octobre 1999, p. 62 et 63.

8. Les études d'impact

Contexte

La prise en compte des impacts des installations industrielles et les aménagements envisagés par une collectivité publique est entrée dans notre arsenal législatif en 1976 dans la loi du 10 juillet relative à la protection de la nature. Cette première loi faisait état des seuls effets sur l'environnement sans parler explicitement des conséquences sanitaires. Dans son article 2, elle introduit l'obligation de conduire une *étude d'impact* pour apprécier les conséquences engendrées par les travaux. Cette étude est un préalable à toute réalisation. La loi du 19 juillet de la même année relative aux installations classées pour la protection de l'environnement impose également, dans le même ordre d'idée, un certain nombre d'études nécessaires aux autorisations préfectorales. Les contenus des études prévues par ces lois sont précisés dans les décrets d'application parus en 1977.

Exactement 20 ans après, la loi du 30 décembre 1996 relative à l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie renforce et complète ces dispositions en indiquant clairement dans son article 19 l'obligation de réaliser un volet sanitaire dans le cadre de l'étude d'impact du projet industriel soumis à autorisation. Entre les deux, de nombreux textes ont permis d'éclairer la volonté du législateur en dressant la liste, non exhaustive, des aménagements, activités ou installations entrant dans le champ d'application, et en étendant les obligations d'études préalables pour ce qui touche à la préservation de la ressource en eau, telles les stations d'épurations d'eaux usées. Cependant, chacun pouvait constater, paradoxalement, que ces premiers textes faisaient référence

essentiellement à la protection de la nature, mais pas explicitement à la santé ; les impacts des installations sur la santé publique n'étaient donc pas systématiquement pris en considération.

Contenu des études d'impact

Les responsables des installations, aménagements ou activités devront dorénavant fournir un dossier comportant l'étude d'impact proprement dite associée ou non à une étude de danger et une notice relative aux respects des conditions d'hygiène et de sécurité du travail. L'*étude d'impact* présente deux axes principaux. Le premier décrit les risques pour le ou les milieu(x) (eau, air, sol...) ; le second étudie les moyens techniques à mettre en œuvre pour gérer les risques éventuellement identifiés. L'analyse du risque pour la ressource s'articule autour de trois parties consistant en une analyse initiale du site, une présentation détaillée du projet sur le plan technique et enfin une analyse des effets positifs et négatifs attendus tant durant la phase de travaux, durant l'exploitation et après la cessation de l'activité. Les effets pris en compte se répartissent classiquement en huit rubriques : insertion paysagère ; effets sur la faune et la flore ; bruit ; odeurs ; troubles de la circulation routière ; pollution de l'eau ; pollution de l'air ; pollution des sols. Dans un dernier temps, le pétitionnaire retient un scénario en justifiant sa proposition, notamment à partir des effets résiduels et des mesures complémentaires pour les réduire.

Les contenus des *études de danger* et de la notice « hygiène et sécurité du travail » n'ont jamais été précisés. Seule une directive européenne donne un contenu minimal à l'étude préalable de danger pour les établissements à haut risque en se plaçant dans le cas de figure d'un accident majeur. L'appréciation sur l'hygiène et la sécurité au travail est soumise à la vigilance des comités d'hygiène, sécurité et des conditions de travail (CHSCT). Le médecin du travail veillera à la bonne adéquation des conditions de travail avec l'état de santé des personnels (voir p. 71). Ces diverses dispositions se placent donc plutôt dans une optique de surveillance des conséquences.

Le renforcement du débat citoyen

Les études d'impact prévues par la loi demandent aux pétitionnaires de se prononcer non seulement sur les risques encourus mais également sur les solutions à mettre en œuvre pour gérer le risque généré. En cas de recours par des plaignants, l'appréciation de ces études est confiée à des juges administratifs qui s'appuient sur un principe de proportionnalité entre l'importance des travaux envisagés et les risques sanitaires et environnementaux estimés. L'adjonction d'un volet sanitaire devrait donc permettre de renforcer le débat public, lors de tout projet d'implantation ou d'aménagement, en obligeant une diffusion et un accès à l'information plus large de l'ensemble des partenaires et surtout des citoyens directement concernés.

9. Les troubles de la reproduction

Le système reproductif, notamment celui de l'homme, est particulièrement sensible aux modifications de l'environnement, qu'elles soient physiques, cliniques ou biologiques. Il y a à ceci différentes raisons :

- la production de gamètes est un processus continu, spécialement chez l'homme. Ce mécanisme physiologique est particulièrement sensible de par sa complexité : il s'agit en effet, à partir de cellules souches qui comportent 46 chromosomes, de produire des cellules germinales (ou gamètes : les spermatozoïdes pour l'homme, les ovocytes pour la femme) qui ne contiennent plus que 23 chromosomes chacune, pour aboutir, lors de leur fusion, à des individus dont toutes les cellules autres que germinales contiendront à nouveau 46 chromosomes. On conçoit bien la complexité des mécanismes mis en œuvre et leur sensibilité aux agressions extérieures. Alors que chez les femmes la plus grande partie de ce processus se déroule pendant la vie intra-utérine, chez l'homme il se met en place avant la naissance puis, après une longue phase de repos, il se développe à partir de la puberté pour se dérouler de façon ininterrompue jusqu'à un âge très avancé ;

- les cellules produites sont elles-mêmes très fragiles et, singulièrement, les spermatozoïdes qui sont les seules cellules de l'organisme à être des cellules isolées et mobiles ;

- le mécanisme de la fécondation est complexe, il nécessite que les organes génitaux soient en parfait état de fonctionnement ;

- enfin, le produit de la fécondation, l'embryon, est très fragile jusqu'à son implantation dans l'utérus, puis jusqu'à ce qu'il acquière

une certaine autonomie de développement, c'est-à-dire jusqu'au 3^e mois de la grossesse.

Une observation historique a montré à quel point l'ensemble des mécanismes de la reproduction peut être perturbé par des modifications de l'environnement. Il s'agit de l'exemple du di-bromo-chloro-propane, le DBCP. Ce produit nématocide¹ est commercialisé depuis les années cinquante. On l'utilisait particulièrement dans la culture des bananes et du coton dans les zones tropicales et subtropicales (Amérique centrale, Caraïbes, Israël...). Bien que l'étude de sa toxicité sur le rat de laboratoire soit connue depuis le début des années soixante, ses effets sur l'homme n'ont été découverts qu'en 1977. À cette époque, les travailleurs d'une usine de production du DBCP en Californie avaient été frappés par le faible nombre d'enfants conçus par les hommes après qu'ils aient commencé à travailler dans cette usine. À l'occasion de la réalisation d'un film pour la télévision, on pratiqua une analyse biologique du sperme parmi cinq de ces travailleurs. Ces examens relèveront des anomalies importantes, dénotant une production de spermatozoïdes soit absente (azoospermie) soit très pauvre (moins de 20 millions de spermatozoïdes/ml de sperme). Ce premier résultat fut confirmé par une analyse détaillée de tous les hommes ayant travaillé dans cette usine. Au total, des études réalisées au Mexique, à Hawaï, en Israël et au Costa-Rica ont fourni des résultats analogues, indiquant qu'environ 15 % des hommes travaillant dans la production du DBCP avaient une production de spermatozoïdes arrêtée et qu'en outre environ 20 % avaient une production insuffisante.

Depuis cette époque de nombreux agents physiques, chimiques et biologiques ont été incriminés dans la survenue de troubles de la reproduction. Il s'agit de l'exposition aux rayonnements ionisants, à la chaleur, aux métaux lourds (le plomb en particulier), à certains médicaments, ou aux conséquences de certaines maladies sexuellement transmissibles. Mais la préoccupation des scientifiques et des pouvoirs publics est devenue beaucoup plus importante depuis la publication en 1992 par une équipe de chercheurs danois (Carlsen

et al.²) d'une revue de la littérature scientifique regroupant 61 études réalisées dans le monde de 1938 à 1990, et montrant, durant cette période, une chute de la production moyenne de 113 millions de spermatozoïdes par millilitre de sperme à 66 millions/ml : près de moitié moins ! De nombreuses études publiées depuis, la plus importante d'entre elles étant réalisée à Paris (Auger et al.³), ont depuis confirmé ce résultat. Il semble bien exister, dans certaines régions, une diminution de la production spermatique d'environ 2 % par an. Fait intrigant, durant la même période, on a enregistré dans tous les pays étudiés une augmentation de 2 à 4 % par an de l'incidence du cancer du testicule, ainsi que de certaines malformations congénitales de l'appareil génital masculin, telle la non-descente des testicules dans les bourses à la naissance (cryptorchidie). L'ensemble de ces anomalies ne sont pas sans rappeler celles qui ont été observées chez les enfants nés de femmes qui avaient reçu un traitement hormonal pendant la grossesse, le distillbène. On sait aussi par ailleurs que certains produits chimiques qui ont contaminé notre environnement au cours des 50 dernières années, comme par exemple le DDT, ou certaines dioxines, sont remarquablement résistantes à la biodégradation, se retrouvent dans la chaîne alimentaire et peuvent induire des anomalies de la reproduction chez des animaux de laboratoire ou chez les animaux sauvages lors d'accidents écologiques (des alligators du lac Apopka en Floride ou des poissons dans les rivières britanniques). L'une des hypothèses formulée pour expliquer ces observations est que de nombreuses substances chimiques pourraient, pendant la vie intra-utérine ou après la puberté, entrer en compétition avec les hormones naturelles (les œstrogènes et/ou les androgènes) et perturber le développement ou le fonctionnement des organes génitaux. Il y aurait, du fait des modifications de l'environnement, une exposition de plus en plus importante à des produits hormonaux (des œstrogènes faiblement actifs) ou à des produits ayant une action biologique de type œstrogénique, que l'on appelle des

1. Destiné à lutter contre les vers.

2. CARLSEN, E., GIWERCMAN, A., REIDING, N. et al. (1992), « Evidence for decreasing quality of semen during past 50 years », *Brit. Med. J.*, 305 : 609-613.

3. AUGER, J., KUNSTMANN, J.-M., CZYGLIK, F. et al. (1995), « Decline in semen quality of fertile men during the last 20 years », *New Engl. J. Med.*, 332 : 281-285.

perturbateurs endocriniens. L'exposition à de tels produits aurait augmenté au cours des 50 dernières années dans notre environnement, puisqu'on peut trouver de telles substances dans de très nombreux produits, depuis certains plastiques jusqu'aux pesticides.

De très nombreuses recherches sont encore nécessaires dans ce domaine de façon à mieux comprendre et évaluer ces risques. Mais la prise en compte de ce qui est déjà connu par un contrôle plus strict des effets sur la reproduction des substances que nous produisons et utilisons devrait intervenir sans tarder. Ce serait une bien sage précaution.

10. Quelques polluants vedettes

L'amiante

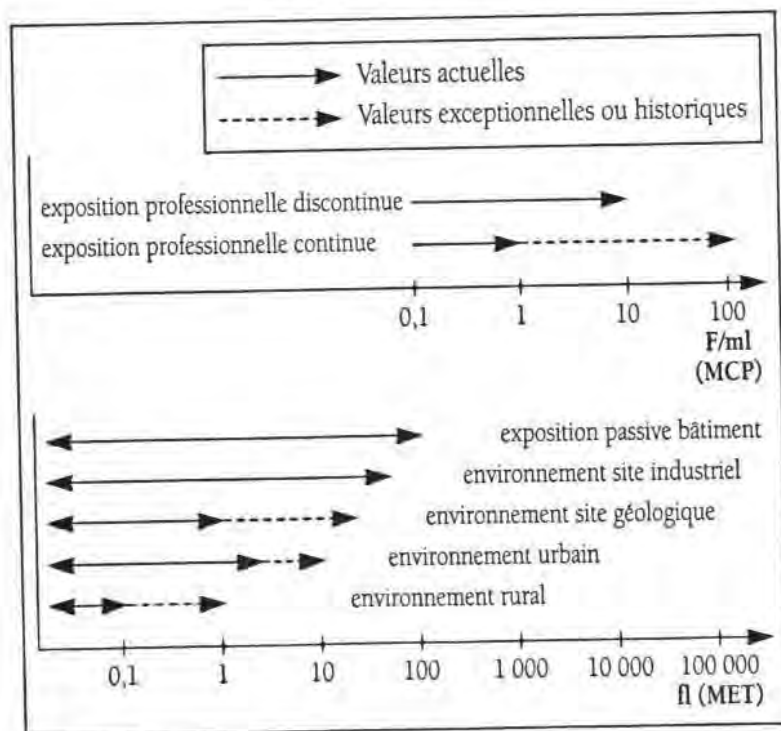
Amiante (nom masc. XIV ; lat. d'orig. grecque *amiantos* = incorruptible) est un terme générique qui recouvre une variété de silicates formés naturellement au cours du métamorphisme des roches, qu'une opération mécanique appropriée transforme en fibres minérales utilisables industriellement. On distingue fondamentalement deux variétés d'amiante : le chrysotile et les amphiboles. Les fibres d'amiante sont des minéraux aux propriétés physiques et chimiques exceptionnelles, qui ne brûlent pas, résistent remarquablement aux diverses agressions chimiques, et présentent une résistance mécanique élevée. Ces propriétés ont favorisé le développement de l'utilisation des fibres d'amiante, sous de multiples formes, pour la fabrication de nombreux produits industriels de grande consommation ou dans la construction des bâtiments.

Dans le secteur de la construction, le matériau à base d'amiante le plus utilisé est l'amiante-ciment, qui représente l'essentiel du tonnage mondial produit (65-70 % du tonnage total). En dehors de nombreux produits industriels utilisés dans la construction des bâtiments, l'amiante a été utilisée sous la forme de flocages destinés à accroître la résistance au feu des structures ou encore améliorer l'isolation phonique ou acoustique. En dehors du bâtiment, un large éventail de secteurs d'activités à recouru à l'amiante, pour des usages moins massifs mais tout aussi variés : les cartons et papiers, les textiles puis les joints et les garnitures de friction, et enfin les produits très divers (jouets, articles pour fumeurs, filtres pour liquides, produits

de revêtements routier, filtres à air, textiles finis, ainsi que certains articles à usage domestique comme par exemple les tables et housses à repasser, les grille-pain, les panneaux isolants pour le bricolage et les appareils de chauffage mobile). Après de longues années de tergiversation, la France a adopté le mécanisme d'interdiction le plus strict en Europe, qui a fait baisser la consommation annuelle d'amiante à 200 tonnes contre 36 000 tonnes avant l'interdiction.

Les expositions professionnelles constituent de loin les principales circonstances d'exposition à l'amiante. Les travailleurs concernés produisent (extraction et transformation) l'amiante, utilisent ce matériau directement pour diverses opérations de transformation (textile, fibrociment, etc.) ou d'isolation thermique ou phonique, ou interviennent sur des matériaux contenant de l'amiante. Mais l'expo-

FIGURE I-1. — VALEURS D'EXPOSITION À L'AMIANTE
DANS DIFFÉRENTS CONTEXTES



sition à l'amiante peut également se produire hors d'un cadre professionnel, notamment dans trois circonstances : 1) à partir d'une *pollution émise par une source « naturelle »* (site géologique), dans certaines régions où le sol contient des fibres d'amiante ; celles-ci sont inhalées par les personnes qui les respirent à l'occasion d'activités diverses ; 2) *par une source « industrielle » ponctuelle* (mine d'amiante, usine de transformation d'amiante) qui projette des fibres d'amiante dans le voisinage, ces fibres pouvant être inhalées par les personnes vivant et/ou travaillant dans l'environnement de cette source ; 3) lors d'un séjour dans des bâtiments où ont été utilisées des fibres d'amiante dans des installations diverses, fibres qui peuvent être relarguées dans l'atmosphère, soit du fait de la dégradation des installations, soit du fait d'interventions sur celles-ci.

Malgré les difficultés liées à l'évolution des techniques de mesure, il est possible de fixer avec une certaine fiabilité les plages de valeurs des niveaux d'exposition correspondant aux grandes catégories définies. On trouvera dans la figure I-1. une synthèse des valeurs habituelles des niveaux d'exposition à l'amiante qui fixe les fourchettes d'exposition de différentes situations ; il s'agit d'ordres de grandeur permettant de caractériser des situations typiques.

• Les risques pour la santé associés à l'exposition à l'amiante

L'accroissement considérable de la production et des utilisations industrielles de l'amiante qui a commencé au début du siècle a été accompagné dans les décennies suivantes d'une « épidémie » majeure de fibroses pulmonaires, de cancers du poumon et de mésothéliomes¹.

Les risques de fibrose pulmonaire, appelée « asbestose » sont les premiers à avoir été établis. C'est en 1906 et 1907 qu'ont été décrits pour la première fois des cas de fibrose pulmonaire chez des sujets exposés à l'amiante. Le premier rapport suggérant l'existence d'un lien entre exposition professionnelle à l'amiante et risque de cancer du poumon a été publié en 1935. En 1950, un grand épidémiologiste

1. Forme de cancer de la plèvre, enveloppe qui tapisse les poumons, quasi spécifique de l'amiante.

britannique, Sir Richard Doll montrait que l'exposition professionnelle à l'amiante était responsable d'un accroissement du risque de cancer du poumon dans une population de travailleurs de l'amiante textile en Grande-Bretagne. En 1960, une conférence de l'Académie des sciences de New York conclut à la responsabilité de l'exposition professionnelle à l'amiante dans la survenue du cancer du poumon dans les mines d'amiante, dans les chantiers navals et chez les calorifugeurs et les travailleurs de l'amiante textile. En 1977 le Centre international de recherche contre le cancer de l'OMS a classé l'amiante dans la catégorie des « agents cancérogènes pour l'homme », tant pour le cancer du poumon que pour une forme particulière de cancer de la plèvre (mésothéliome de la plèvre). Concernant le cancer du poumon, le temps moyen de latence entre l'exposition et la survenue de la maladie est d'environ dix ans. On estime que 5 à 7 % des cas de cancer du poumon chez l'homme peuvent être attribués à une exposition professionnelle à l'amiante dans les pays industrialisés.

Dès le début des années soixante, un risque élevé de mésothéliome associé à l'exposition à l'amiante a été montré chez les mineurs de crocidolite (amiante du groupe des amphiboles) d'Afrique du Sud. Des observations similaires ont été faites en Grande-Bretagne et au Canada chez les ouvriers ayant fabriqué des filtres de masques à gaz et, aux États-Unis, dans les fabriques de filtres de cigarettes et le secteur de l'amiante textile. Le risque était particulièrement élevé chez les ouvriers des chantiers navals et chez les calorifugeurs. Le temps de latence entre l'exposition et la survenue de la maladie se situe en moyenne entre 30 et 40 ans. Hormis l'exposition à l'amiante, aucun facteur de risque associé au mésothéliome n'est connu à l'heure actuelle. Tous les arguments convergent pour attribuer aux expositions professionnelles l'étiologie de la quasi-totalité des cas de mésothéliome dans les pays industrialisés. Ces arguments proviennent de très nombreux travaux, mettant à contribution tous les types d'étude et toutes les méthodes épidémiologiques. Alors que dans les années soixante, les principales professions touchées étaient celles de la production et de l'utilisation de l'amiante (travailleurs du secteur de l'isolation, de la production et de la transformation de l'amiante, chauffagistes, travailleurs des chantiers navals), dans les années quatre-vingt et quatre-vingt-dix, le risque le plus élevé concerne les métiers impliquant des tâches d'intervention sur des matériaux conte-

nant de l'amiante. Les professions les plus touchées sont les tôliers-chaudronniers et les carrossiers industriels, puis les plombiers, les charpentiers et les électriciens. À eux seuls, les métiers du bâtiment représentent actuellement le quart de tous les décès par mésothéliome, proportion considérée comme probablement sous-estimée. D'autres métiers connaissent aussi un risque élevé de mésothéliome, tels que soudeurs, dockers, techniciens de laboratoire, peintres et décorateurs, bijoutiers, ajusteurs, mécaniciens automobile, et travailleurs des chemins de fer, etc. Les niveaux d'exposition sont vraisemblablement moins élevés que dans le passé, mais l'ensemble de ces professions occupe des effectifs importants, ce qui explique le grand nombre de cas de mésothéliome qu'on y rencontre. De plus, ces professions n'étant habituellement pas considérées comme « à risque », elles sont moins l'objet de surveillance et de mesures de protection adéquates. On admet ainsi qu'au moins 80 % de tous les mésothéliomes survenant dans les pays industrialisés sont dus à une exposition professionnelle à l'amiante ainsi qu'environ 5 à 10 % de tous les cancers du poumon².

• La surveillance du mésothéliome

En France, l'idée d'un registre national des mésothéliomes a été lancée dès 1975. En janvier 1998, le « registre des mésothéliomes » a évolué vers le PSNM (programme de surveillance nationale du mésothéliome), financé par la Direction générale de la santé et la Direction des relations du travail. Coordonné par l'Institut de veille sanitaire, il s'appuie simultanément sur le réseau FRANCIM des registres français du cancer, le laboratoire Santé-Environnement de Bordeaux (ISPED), et le laboratoire d'anatomopathologie de Caen. Il couvre aujourd'hui 19 départements. L'estimation du nombre de cas attendus en 1998 sur les 17 départements de l'étude initiale, faite à partir des données du réseau FRANCIM, est de 112 cas. Le nombre de cas notifiés en 1998, en cours de confirmation de diagnostic est de 128. Sur cette base, le taux d'incidence dans la zone géographique

2. Effets sur la santé des principaux types d'exposition à l'amiante, Expertises collectives INSERM. Les éditions INSERM, Paris, 1997.

du PSNM, hommes et femmes confondus, est de 1,18 cas pour 100 000 habitants (IC 95 % [0,97-1,38]). Le *sex ratio* est de 5 hommes pour une femme. L'âge moyen est de 71 ans chez les hommes et de 72 ans chez les femmes. En tenant compte de l'estimation de l'incidence du mésothéliome et de son évolution, et de la fraction des cancers du poumon qui est attribuable aux expositions professionnelles à l'amiante, on a estimé, pour l'année 1996, le nombre de décès attribuables à une exposition à l'amiante à environ 1 950 en France (750 par mésothéliome et 1 200 par cancer du poumon). Il faut souligner que cette estimation est une borne inférieure du véritable nombre de décès attribuables à l'amiante, une fraction non évaluable des mésothéliomes (ainsi que des cancers du poumon) échappant à tout diagnostic médical. Depuis cette estimation, le nombre de cas de cancers du poumon et de la plèvre attribuable à l'exposition à l'amiante ne cesse d'augmenter (de l'ordre de 4 % par an). La tendance à l'augmentation de la mortalité par mésothéliome devrait se poursuivre pendant au moins deux ou trois décennies, en raison du temps de latence de 30 à 40 ans³. Globalement, on considère que l'incidence du mésothéliome dans les pays industrialisés augmente de 5 à 10 % par an depuis les années cinquante.

• Évolution de la réglementation sur l'amiante en France et à l'étranger

Si la cancérogénicité de l'amiante a été scientifiquement établie dès les années 1950, il faut attendre 1977 pour que la France, comme la plupart des pays européens, adopte une réglementation protectrice des travailleurs, puis de la population générale qui se caractérise à ce moment par la volonté d'une utilisation « contrôlée » de l'amiante, malgré de vives controverses concernant le caractère réaliste d'une utilisation garantissant l'absence de risque⁴. Il convient

3. The European mesothelioma epidemic, PETO J., DECARLI A., LA VECCHIA C., *British Journal of Cancer*, 1999, 79, 3/4, p. 666-672.

4. Décret n° 77-949 du 17 août 1977 modifié par le décret n° 87-232 du 27 mars 1987 relatif aux mesures particulières d'hygiène applicables dans les établissements où le personnel est exposé à l'action des poussières d'amiante. Décret n° 78-934 du 20 mars 1978 relatif à l'emploi des fibres d'amiante pour le flocage des bâtiments. Circulaire du

TABEAU I-2.— RÉGLEMENTATIONS EUROPÉENNES
CONCERNANT L'EXPOSITION AUX FIBRES D'AMIANTE

	Valeurs d'exposition chrysotile/ autres	Interdiction du flocage	Interdiction des produits
Union européenne	0,6 f/ml 0,3 f/ml		utilisation contrôlée
France	0,1 f/ml 0,1 f/ml	1977 / 1978	interdiction le 24/12/1996
Belgique	0,5 f/ml 0,15 f/ml	1980	utilisation contrôlée
Royaume-Uni	0,6 f/ml 0,2 f/ml	1985	utilisation contrôlée
Allemagne	0,15 f/ml 0,15 f/ml	1979	interdiction en 1979 sur 10 ans
Espagne	0,6 f/ml 0,3 f/ml		utilisation contrôlée
Suisse	0,25 f/ml 0,25 f/ml	1975	interdiction le 01/09/1986

de distinguer trois types d'utilisation de l'amiante qui font chacun l'objet d'une réglementation spécifique.

— Les valeurs limites d'exposition des travailleurs aux poussières d'amiante, établies pour la première fois en 1977, ont connu un abaissement constant sous l'influence de directives européennes successives. En 1996 la France est allée plus loin en adoptant des valeurs inférieures à celles décidées par la directive européenne du 25/01/1991 toujours en vigueur actuellement (cf. tableau I-2.).

— La réalisation de flocage à l'amiante a été interdite en France en 1977 pour les locaux d'habitation, puis en 1978 pour tous les bâtiments si la concentration d'amiante dans les produits utilisés est supérieure à 1 %. La projection d'amiante par flocage et les activités incorporant des matériaux isolants ou insonorisants de densité inférieure à 1g/cm³ ont été interdites en 1992.

— Pour les produits contenant de l'amiante, la France s'est d'abord contentée d'appliquer les directives européennes avant d'aller plus

15 septembre 1994 précisant les règles à observer et les méthodes de travail à respecter pour procéder au retrait de l'amiante ainsi que des méthodes d'analyses à utiliser, (traitement, protection des ouvriers, mise en décharge, restitution des locaux...).

loin en les interdisant totalement. Cette interdiction s'est effectuée en trois étapes, en tenant compte de l'importance du pouvoir cancérigène des différentes variétés d'amiante :

En 1988, la variété d'amiante crocidolite est interdite (avec trois exceptions).

En 1994, la mise sur le marché, l'utilisation et l'importation de toutes les amphiboles sont interdites. Seul le chrysotile reste autorisé à l'exception de certains produits.

En 1996, par le décret n° 96-1133 du 24 décembre, la fabrication, l'importation, la mise sur le marché, l'exportation et la vente de toutes les variétés d'amiante sont interdites avec cependant quelques dérogations.

Les métaux

Les métaux ne se dégradent pas et donc perdurent dans l'environnement. Ils ont en revanche l'aptitude de s'associer avec d'autres composés chimiques pour former toutes sortes de molécules dont les propriétés, physico-chimiques et toxiques, sont très diverses. Les métaux ont la même caractéristique que le plomb : on les trouve autant à l'état solide que gazeux. Ainsi, un même métal peut être mesuré selon sa forme chimique, soit à l'état gazeux soit à l'état solide, associé à des particules.

Ce n'est donc pas la quantité de métal présent dans l'environnement qui est importante mais la forme sous lequel on le retrouve, conditionnée par les caractéristiques du milieu, telles que l'acidité et la présence de matière organique. Le zinc solide est beaucoup moins nocif que la molécule de zinc à l'état gazeux que l'on peut inhaler. La forme chimique du métal gouverne étroitement sa capacité à traverser les barrières biologiques et à s'accumuler dans tous les organismes vivants végétaux ou animaux avec, en bout de chaîne, l'homme.

Tous les métaux ne sont pas nocifs. Certains d'entre eux sont indispensables à la bonne marche de notre corps, à faible dose. Zinc, Sélénium, Manganèse jouent ainsi le rôle d'oligo-éléments... Les mêmes, à fortes doses, sont dangereux. D'autres métaux sont cependant complètement indésirables tels le cadmium, le mercure, l'arsenic et le plomb. Mais, constituants naturels de la croûte terrestre, ils ne sont jamais totalement absents.

Les effets nocifs connus résultent essentiellement d'observations en milieu du travail, plus facile à étudier. Mais certains désastres écologiques ont montré l'importance de l'environnement dans la contamination de l'homme, notamment à travers la concentration des métaux le long de la chaîne alimentaire. Cependant les concentrations mesurées dans ces situations paroxystiques sont sans commune mesure avec celles que la population de nos villes connaît actuellement.

Les métaux pénètrent dans notre organisme principalement par inhalation ou ingestion. Les niveaux d'exposition par voie respiratoire sont cependant mal connus, alors que les apports alimentaires sont beaucoup plus documentés. Le passage cutané est faible, voire inexistant. Voici le cas de cinq métaux. Le plomb sera particulièrement détaillé.

Le plomb

• Introduction

Polluant ubiquitaire, composant naturel de la croûte terrestre, le plomb n'est pas produit par l'homme. Il se contente de le disperser dans son environnement. Et ce, depuis le développement de la métallurgie dans le monde antique. L'usage industriel du plomb, métal malléable aux multiples attraits, s'est développé au XIX^e siècle. Il a explosé au début du XX^e siècle, d'abord avec l'utilisation de sels de plomb dans les pigments de peinture (la céruse), puis – après la découverte par General Motors en 1923, des propriétés antidétonnantes des alkyles de plomb – du fait du considérable développement du trafic automobile. En 1969, époque de la plus intense production de cet additif des carburants, 60 % de la consommation mondiale étaient concentrés dans le secteur automobile (carburants et batteries), ce qui entraînait alors la dispersion, via les gaz d'échappement, de l'ordre de 2,3 centaines de milliers de tonnes dans l'atmosphère chaque année. On en retrouve des traces indélébiles dans la calotte glaciaire. Depuis lors, la courbe s'est inversée dans les pays les plus développés qui ont sévèrement réglementé, puis progressivement interdit l'usage du plomb dans les carburants.

Fiche d'identité du Plomb métal : symbole Pb (n° atomique 82), poids atomique de 207,2 ; densité de 11,34 ; point de fusion à 327,43 °C et point d'ébullition à 1 740 °C. Quatre de ses 20 isotopes sont naturels, les autres sont radioactifs.

• Exposition de l'homme au plomb

L'homme est au contact du plomb dans l'air, dans l'eau, les aliments, dans les poussières des sols et les écailles des anciennes peintures à la céruse dégradées. Dans l'air, les responsables sont les gaz d'échappement des automobiles utilisant de l'essence plombée (encore près de la moitié du parc en France) et les émissions industrielles (activités minières et sidérurgiques principalement). Dans l'eau, il en existe naturellement de petites quantités du fait de la composition des sols. L'apport principal résulte des anciennes canalisations contenant du plomb dans les tuyaux, raccords ou soudures. Le métal est petit à petit dissous, surtout dans des eaux peu minéralisées avec un pH acide. Les aliments en comportent naturellement, mais en zone contaminée par des activités industrielles ou des gaz d'échappement, les teneurs dans les végétaux et les productions animales sont sensiblement accrues.

TABLEAU I-3. – ABSORPTION TOTALE DE PLOMB ET PRINCIPALES SOURCES D'EXPOSITION ENTRAÎNANT UN DÉPASSEMENT DE LA DOSE JOURNALIÈRE TOLÉRABLE (DJT*) CHEZ LE NOURRISSON ET L'ENFANT

Milieu	Catégorie d'âge	Absorption totale (µg/j)	Source d'exposition principale	Apport de l'exposition principale (µg/j)	Apport relatif : exposition principale / DJT
Urbain moyen	Nourrisson Enfant	7-9 12-20	Eau et Alimentation	3-5 7-15	0,2-0,3 0,1-0,3
Rural exposé	Nourrisson Enfant	21-185 22-166	Eau Eau	18-180 15-150	1-10 0,5-3,1
Urbain exposé	Nourrisson Enfant		Poussières Poussières	25-50 125-150 ⁽¹⁾	1,4 - 2,8 2,6 - 3,1
Industriel	Nourrisson Enfant	23-36 88-149	Poussières Poussières	15-25 75-125	1,3 - 2 1,6 - 2,6

* DJT : Dose journalière tolérable définie par l'OMS : 18 µg/j pour le nourrisson ; 48,5 µg/j pour l'enfant de 2 ans ; 214 µg/j pour l'adulte.

Source : INSERM 1999.

(1) : + écailles de peintures.

Selon l'INSERM, de l'ordre de 2 % des enfants de 1 à 6 ans en France, auraient une teneur de plomb dans le sang supérieure à 100 µg/l. 10 000 auraient des valeurs élevées au-delà de 250 µg/l. Cette concentration est considérée comme un seuil à partir duquel des mesures d'urgence s'imposent pour soustraire l'enfant à un risque sérieux. À partir de 100 µg/l, des conseils doivent être donnés aux parents pour réduire les sources d'exposition. Quatre scénarios types d'exposition ont été construits résumés dans le tableau I-3. La grande majorité de la population répond au *scénario urbain moyen*, sans danger appréciable. Dans le *scénario rural exposé*, l'eau est chargée de plomb en raison des canalisations et de sa minéralisation. Le *scénario industriel* correspond typiquement à une zone d'activité sidérurgique, tandis que le *scénario urbain exposé* représente la situation des milliers de familles – souvent socialement défavorisées – vivant dans un habitat ancien dégradé, avec présence de poussières d'écailles de peintures anciennes au plomb, que les enfants ingèrent en léchant leurs doigts. Le tableau exprime les absorptions totales journalières pour les enfants (population la plus exposée et fragile), et l'apport de la source principale conduisant à un dépassement de la dose journalière tolérable définie par l'Organisation mondiale de la santé, compte tenu des valeurs de concentrations retrouvées dans les différents milieux considérés et des taux de pénétration du plomb inhalé ou ingéré. Un apport relatif supérieur à 1, dans la dernière colonne, signale une source d'exposition conduisant à un dépassement de la dose journalière considérée comme acceptable pour un enfant.

Ces scénarios démontrent que les poussières et l'eau sont les deux principales sources de contamination pour les nourrissons et les enfants, contribuant à un apport largement supérieur aux doses journalières tolérables. Dans un contexte où ces deux sources sont réduites, l'alimentation constitue la part principale de l'apport journalier en plomb, mais l'exposition totale est alors modeste.

Le plomb absorbé diffuse rapidement par la circulation sanguine et atteint différents organes où il exerce sa toxicité. De l'ordre de 95 % du plomb absorbé va finalement se stocker dans l'os, dans lequel sa demi-vie est très longue (jusqu'à 20 ans dans l'os compact). De là, il pourra migrer de nouveau vers des organes sensibles. Une exposition au plomb est donc un phénomène cumulatif. De plus,

même après éviction de la source, le sujet s'auto-intoxique continuellement à partir du stock qu'il a constitué. La femme enceinte est une personne particulièrement à risque car elle mobilise son propre calcium pour construire son bébé. Elle lui livre donc aussi le plomb qui est intimement lié dans l'os au métabolisme du calcium. Or ce plomb est un neurotoxique d'autant plus actif qu'il intervient tôt dans le développement fœtal.

• Toxicité du plomb

Le plomb interfère avec différentes fonctions du métabolisme cellulaire : métabolisme du calcium, du fer, synthèse de l'hème⁵, neurotransmetteurs du système nerveux central. Sa toxicité va s'exprimer sur plusieurs fonctions et organes. Les effets hématologiques, rénaux, cardio-vasculaires et sur la reproduction se manifestent pour des expositions biologiques élevées, au-delà de 400 µg/l de sang. La synthèse de l'hème est affectée. La durée de vie des précurseurs des globules rouges est réduite et une anémie peut apparaître. Des intoxications sévères (au-delà de 600 µg/l), parfois observées en milieu professionnel, ont entraîné une atteinte du rein, avec réduction de la fonction de filtration rénale. Des hypertensions artérielles se sont aussi produites après de longues années d'exposition à des niveaux élevés. La reproduction masculine est perturbée. Le pouvoir fécondant des spermatozoïdes est réduit chez l'animal de laboratoire. Chez l'homme, en milieu professionnel, une exposition chronique peut réduire la production des spermatozoïdes, ce qui entraîne une moindre fertilité. Chez la femme, de fortes doses sont nocives pour la grossesse, avec avortements, malformations et altérations de la croissance fœtale.

Le plomb et ses dérivés inorganiques semblent bien être aussi un cancérigène chez l'homme. Il est génotoxique et certains sels de plomb se sont avérés être des cancérigènes complets chez l'animal. Des études épidémiologiques en milieu professionnel tendent à confirmer ce risque.

Une exposition chronique, à des niveaux sensiblement moindres que ceux décrits jusqu'ici, peut perturber les processus de mémorisa-

tion et d'apprentissage de l'enfant. C'est l'imprégnation anténatale (donc via la mère) surtout, et l'exposition dans les premiers mois de la vie du nourrisson, qui ont les effets les plus négatifs sur le développement cognitif ultérieur. Troubles de la mémoire, dysfonctionnements des fonctions visuelles et auditives, défaut d'attention, compromettent les apprentissages. De nombreuses études épidémiologiques, conduites depuis 30 ans, ont montré de manière répétitive des troubles du comportement (hyperactivité, inattention, impulsivité...) et une baisse des capacités d'intégration visuo-motrice. Le développement neuropsychique de l'enfant d'âge scolaire est compromis, et ce d'autant plus que l'exposition a été importante, précoce et prolongée. On a pu estimer que des indices globaux du développement intellectuel, comme le quotient intellectuel (QI), étaient réduits de 1 à 3 points (sur une échelle moyenne de 100) pour une augmentation de la plombémie de 100 µg/l. Ces effets ont été montrés de manière convaincante au-delà d'une exposition biologique supérieure à 100 µg/l ; en deçà, certaines études suggèrent aussi un impact, mais les résultats sont plus discordants.

Bien entendu, il ne saurait être question d'attribuer au plomb toutes les difficultés d'apprentissage des enfants. La qualité sociale et éducative de l'environnement de l'enfant est certes capitale. Cependant, l'exposition au toxique qui, trop souvent, accompagne des conditions de vie dégradées, ne fait que rendre encore plus précaire le développement psycho-intellectuel de l'enfant.

Le cadmium

Étroitement lié aux minerais de plomb et de zinc, le cadmium est un métal largement utilisé dans la fabrication des piles, batteries et autres accumulateurs, de pigments et verres, et dans la galvanoplastie... Il entre également dans la composition des câbles électriques et se retrouve dans les effluents de nombreux processus de combustion tels que l'incinération des déchets et la fumée de tabac car le plant de tabac contient naturellement du cadmium.

C'est un élément indésirable pour l'homme, quelle que soit sa forme chimique. Les principaux organes cibles sont le rein, les os et le poumon. Une exposition de longue durée peut conduire à une insuffisance rénale, des douleurs osseuses (connues sous le nom de

⁵ Hème : élément constitutif de l'hémoglobine des globules rouges, qui permet le transport de l'oxygène dans le sang.

« Itai-Itai » maladie décrite chez des femmes chinoises qui ont été atteintes alors qu'elles travaillaient dans les rizières polluées), et à un cancer pulmonaire. Les instances toxicologiques internationales sont sûres de sa cancérogénicité (classement 1 du Centre international de recherche sur le cancer).

Les apports de cadmium sont essentiellement alimentaires, par le biais des légumes et céréales. Dans la chaîne alimentaire, il se concentre dans les coquillages et crustacés, et se retrouve préférentiellement dans les abats des animaux. Un peu moins de 10 % du cadmium présent dans ces aliments pénètre le tube digestif. Le taux d'absorption pulmonaire du cadmium inhalé est de l'ordre de 25 %, mais les teneurs dans l'air sont habituellement basses.

La mesure du métal dans les urines est un indicateur de sa présence dans l'organisme. Elle est classiquement utilisée pour repérer les fumeurs car il perdure dans notre corps pendant des dizaines d'années. Sa demi-vie biologique est en effet de 30 ans ! Il peut donc s'accumuler et finir par atteindre, chez les sujets les plus exposés, des doses toxiques pour les organes sensibles.

L'arsenic

L'arsenic est entré dans de nombreuses compositions de pesticides épanchées sur les vignes et les cultures de plants de tabac, avant que de nouveaux produits et la reconnaissance de sa toxicité en restreignent l'utilisation. L'arsenic est par ailleurs un sous-produit de la métallurgie et sert à la fabrication des semi-conducteurs.

As : numéro atomique 33, masse atomique 75.

Depuis longtemps, poison et arsenic sont étroitement associés. On retiendra, d'un côté, l'hydrogène arsénié, un gaz mortel qui détruit les globules rouges du sang, ou l'anhydride arsénieux, au cœur des affaires criminelles ; de l'autre l'arsénobétaïne, forme d'arsenic majoritaire dans notre alimentation (surtout chez les amateurs de poissons et crustacés) et qui ne donne aucun signe de toxicité. Sous cette forme, l'arsenic est d'ailleurs un oligo-élément. Il se concentre dans les ongles et les cheveux, lieux privilégiés des recherches lors d'intoxication. Une exposition chronique élevée à ce métal ubiquitaire conduit à des pro-

blèmes circulatoires (« maladie des pieds noirs »), provoque des irritations cutanées et est responsable de cancer de la peau ou du poumon (le métal appartient à la classe 1 du CIRC).

Le mercure

La construction de thermomètres, les amalgames dentaires, les activités des chercheurs d'or (Guyane et Brésil...) et l'incinération des déchets sont autant de sources de mercure déversées dans l'environnement sous des formes plus ou moins toxiques pour l'homme. La plus célèbre des pollutions est celle de la baie de Minamata au Japon.

Sous forme métallique, le mercure se présente comme un liquide à la température ambiante. C'est le principal moyen de transport du métal dans l'air. Du fait de ce caractère volatil, l'inhalation représente une voie de pénétration majeure mais l'importance de l'exposition par l'air est mal connue. On peut le retrouver aussi en quantité dans la chaîne alimentaire où se produit une bioconcentration. Ce sont les poissons, fruits, légumes et céréales qui apportent le plus de mercure à l'organisme humain. Des concentrations très élevées peuvent ainsi être mesurées dans le thon, poisson prédateur, en zone marine contaminée par des effluents industriels.

Une fois dans l'organisme, il a la particularité de passer la barrière placentaire mais aussi celle du cerveau où il peut altérer les capacités intellectuelles. Le rein est également un organe cible. La contamination est bien sûr plus dramatique chez l'embryon ou l'enfant. Dans le cas de Minamata, c'est le mercure sous forme organique (méthylmercure) qui est à l'origine du désastre observé il y a 40 ans. Il était fortement concentré dans les poissons, base de l'alimentation de la population de cette baie contaminée par les rejets directs en mer d'une usine proche. Il n'y a pour le moment que des suspicions sur ses conséquences cancérogènes, par manque de preuves chez l'homme ; le mercure organique a été classé dans la catégorie 2B (cancérogène « possible » pour l'homme) par le CIRC ; le mercure métallique n'a pas été classé pour sa cancérogénicité.

Il est dosé dans le sang et les urines pour apprécier la charge de l'organisme.

Le chrome

Ce métal est largement distribué dans la croûte terrestre, mais la contamination de l'environnement provient essentiellement de son utilisation en tannerie, imprimerie et dans les peintures. L'émission de chrome dans l'atmosphère est aussi associée à la combustion de gaz naturel, de pétrole et de charbon.

Les apports par l'alimentation proviennent essentiellement des céréales, des fruits et des viandes. Les deux formes chimiques majeures sont le chrome VI et le chrome III. Le premier est toxique car il a la faculté de passer les barrières des cellules et de dérégler leur bon fonctionnement. En revanche le deuxième est inopérant, voire considéré comme essentiel au métabolisme cellulaire. Après des expositions de longue durée au CrVI peuvent apparaître des cancers pulmonaires et des muqueuses nasales, de l'eczéma et autres allergies cutanées ainsi que des atteintes de la cornée. Les preuves de sa cancérogénicité sont bien établies chez l'homme (classement 1 du CIRC).

TABLEAU I-4. – RÉCAPITULATIF DES CONCENTRATIONS MOYENNES
DE 4 MÉTAUX MESURÉS DANS DIFFÉRENTS MILIEUX,
ET DES VALEURS RÉGLEMENTAIRES EN VIGUEUR

Type de valeur	Unité	Cd	As	Hg	Cr
Teneurs mesurées					
Air ambiant urbain	ng/m ³	0.5	10-200	0.1-5	5-70
Eau potable	µg/l	3	< 10	25	0.4-8
Sol	mg/kg	0.5	20	-	60
Alimentation	µg/j	15	40	14,8	50-200
Valeurs réglementaires					
Atmosphère professionnelle	µg/m ³	100 (gaz) 200 (poussières)	- 10	50 10 (methylmercure)	52 (CrVI) -
Air ambiant	ng/m ³	5-20 recommandation	- -	25 000 (proposition)	-
Eau potable	µg/l	5	50	-	50
Sols	mg/kg	?	?	?	-
Alimentation (DHT*)	µg/j	400-500	?	200 µg	?
					50-200

* Dose Hebdomadaire Tolérable : quantité ingérée maximale jugée sans effet nocif sur une semaine.

Les dosages du chrome urinaire (voie normale d'élimination) et sanguin peuvent être utilisés, mais leur interprétation sanitaire est délicate si l'on n'a pu faire de distinction entre les différentes formes du chrome.

Les éthers de glycol

• Introduction

Les éthers de glycol (Eg) forment une famille de plus de 30 substances chimiques très utilisées dans les produits industriels et domestiques depuis les années trente (phytosanitaires, carburant aéronautique, produits photographiques, mais aussi peintures dites « à l'eau », encres, colles et adhésifs, vernis, teintures, produits d'entretien, cosmétiques...). Bien que leur toxicité reproductive chez l'animal ait été mise en évidence au début des années quatre-vingt, ce n'est qu'en août 1997 que la réglementation française a commencé à limiter leur usage. Un récent rapport de l'INSERM sur les risques liés au Eg a conduit les pouvoirs publics à renforcer cette réglementation.

• Caractéristiques et utilisation des Eg

Il existe deux groupes d'Eg : ceux dérivés de l'éthylène glycol et ceux dérivés du Propylène glycol. Ils sont très utilisés parce qu'ils sont à la fois des solvants des résines et sont miscibles aussi bien avec l'eau qu'avec les autres solvants. Ces propriétés, alliées au fait que leur toxicité aiguë est faible, expliquent le développement de leur utilisation dans une multitude de produits industriels et domestiques. L'étude de plusieurs fichiers de produits industriels, en France, entre 1983 et 1998, montre qu'en moyenne, pendant cette période, plus d'une préparation industrielle sur dix contenait un Eg, à des concentrations variant de 1 %... à 100 % (sérigraphie). En 1997, le marché européen des Eg de glycol était de 350 000 tonnes, dont de l'ordre de 30 000 tonnes en France. Alors que les Eg de la série éthylénique, jugée la plus dangereuse, étaient encore commercialisés de manière majoritaire en France, en 1997 (pour moitié pour la fabrication de peintures, encres et colles), on assiste à un transfert progressif vers la

série propylénique. Moins étudiée à ce jour, cette série apparaît *a priori* moins toxique, mais les données sont aujourd'hui très lacunaires.

L'exposition se fait par la voie pulmonaire ou par la peau, en cas de contact avec la substance, sous forme liquide ou vapeur. Les Eg se distribuent ensuite très rapidement dans l'organisme et peuvent passer la « barrière » placentaire. Les voies de transformation dans l'organisme des Eg Éthylène et Propylène sont différentes, les premiers aboutissant à des produits plus toxiques que les seconds (acides et aldéhydes). Ces schémas métaboliques sont communs à toutes les espèces animales et à l'homme, ce qui permet d'utiliser les résultats d'études toxicologiques chez l'animal pour identifier les dangers pour l'homme. Ce dernier excrète les métabolites des Eg Éthylène plus lentement que les autres espèces, ce qui pourrait expliquer une plus grande sensibilité à ces toxiques.

• Toxicité expérimentale chez l'animal

Les doses létales 50 (DL50)⁶ par voie orale sont élevées, ce qui a conduit pendant longtemps à considérer tous les Eg comme dénués de toxicité et à les utiliser sans précautions particulières (y compris le EGEE comme excipient de médicaments jusqu'en novembre 1995, par exemple !). On peut distinguer 3 groupes d'Eg au vu de leurs effets toxiques sur la reproduction et le sang. Ces effets sont observés chez toutes les espèces testées et pour toutes les voies d'exposition.

Pour les composés du groupe 1a⁷ les études ont montré une toxicité reproductive chez le mâle (atrophie de l'appareil reproducteur, atteinte de la spermatogenèse et infertilité partielle, voire totale aux plus fortes doses testées) et chez la femelle (allongement du temps de gestation, fertilité réduite voire infertilité aux plus fortes doses testées). Une toxicité pour le développement de l'embryon et du fœtus a été également montrée, avec baisse du poids des nouveau-nés et des malformations diverses.

6. La DL50 est la dose d'un toxique qui entraîne la mort de 50 % des animaux testés. C'est une mesure très importante de toxicité aiguë. Un produit dont la DL50 est élevée (supérieure au g/kg) est peu dangereuse, à court terme ; si la DL50 est faible (g/kg ou moins), le danger est plus intense. Mais cela ne permet de juger que de la toxicité à court terme.

7. Voir la liste p. 301.

Les données pour les Eg du groupe 1b sont moins nombreuses mais indiquent des effets de même nature que celles des Eg du groupe 1a.

En ce qui concerne les Eg du groupe 2, seuls les effets sur l'appareil génital femelle et le développement embryon-fœtal sont indiscutables (diminution de la taille des portées, augmentation de la mortalité néonatale et réduction de l'ossification des fœtus).

Les composés du groupe 3, qu'ils appartiennent à la série E ou à la série P n'induisent pas d'effets sur la reproduction ou sur le sang.

Les données actuelles sont encore parcellaires et il est difficile d'affirmer un effet cancérigène. Plusieurs Eg sont génotoxiques ; certains s'avèrent avoir une potentialité cancérigène chez l'animal. Au total, les effets sur le développement sont retenus comme critiques, car ils sont observés aux plus faibles doses et à partir d'une exposition unique. Une dose de référence à ne pas dépasser (DR) a été calculée par l'agence américaine de l'environnement (l'US EPA) pour un nombre limité d'Eg à partir des données expérimentales (en appliquant des facteurs de sécurité conventionnels : 1 000 pour les risques de malformation congénitale, 100 pour les autres).

• Toxicité humaine

Les données humaines sont moins nombreuses mais tendent à confirmer les données animales. Il s'agit d'études en milieu professionnel dans différents secteurs industriels (peintres en chantier naval, industrie des cristaux liquides ou industrie des semi-conducteurs, fonderie...) où les ouvriers et les ouvrières les plus exposés présentent des troubles de la reproduction (atteinte de la spermatogenèse, perturbation du cycle menstruel, hypofertilité, avortements spontanés...). Une exposition précoce pendant la grossesse pourrait être associée à diverses malformations congénitales (fentes orales, malformations du système nerveux central et anomalies multiples).

• Exposition de la population

Les expositions professionnelles aux Eg du groupe 1a mesurées dans les années quatre-vingt se traduisaient par un dépassement constant, en moyenne, de la dose de référence (jusqu'à 100 fois dans

des activités comme la peinture, l'imprimerie ou la réparation automobile). Une étude plus récente, menée dans les années quatre-vingt-dix dans 63 ateliers de 18 secteurs d'activité, à l'aide de dosages urinaires des métabolites montre que les expositions étaient moins élevées mais restaient cependant souvent supérieures à la dose de référence sans danger, principalement dans les activités de fabrication de circuits imprimés, de peinture d'avions, de vernissage métallique ou de meubles, de nettoyage de véhicules, de sérigraphie, de peintures de charpente et de carrosserie par procédé classique ou par cataphorèse – traitement anticorrosion – ... Il n'existe pas en France de valeurs limites réglementaires d'exposition professionnelle pour les Eg; le ministère du Travail recommande cependant des valeurs limites pour quelques Eg.

Pour les consommateurs, l'exposition est le plus souvent limitée à des périodes de temps courtes (sur la journée ou au maximum sur la semaine). La dose de référence peut être dépassée dans un certain nombre d'emploi de produits domestiques, notamment pour les vernis, peintures et produits de nettoyage. Une expérimentation a montré que l'utilisation d'une peinture plafond grand public contenant 0,9 % de MG a pu induire une exposition quotidienne de l'ordre de 3mg/kg, soit la dose sans effet observé, chez le lapin⁸.

• Réglementation

Les Eg du groupe 1a ont été classés en 1993 comme toxiques pour la reproduction de classe 2 par l'Union européenne. En conséquence, toute préparation comportant une concentration de ces Eg supérieure ou égale à 0,5 % doit être étiquetée avec le pictogramme « Toxique » et comporter les avertissements « Peut altérer la fertilité » et « Risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant ». En France, trois arrêtés publiés en 1997 et 1998 interdisent l'usage de ces substances dans des médicaments, cosmétiques, combustibles et carburants, couleurs pour artistes et des produits à usage professionnel. L'Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé a reçu mission d'évaluer les risques pour les autres Eg que ceux déjà

interdits. La publication du rapport de l'INSERM fin 1999 a conduit les pouvoirs publics à engager un renforcement de la réglementation concernant la protection et l'information des travailleurs (substitution par des substances non dangereuses, usage en système clos et surveillance médicale). Des actions ont été proposées au niveau européen, visant à réviser la classification des Eg, et le développement de l'évaluation du risque pour les substances connaissant un usage grand public ou industriel en tant que solvant.

La famille des éthers de glycol fait actuellement l'objet de vifs débats publics. Leur mise sur le marché s'est faite sur la base de données très fragmentaires, fondées sur des tests de toxicité aigus. Cet exemple montre que ces tests à court terme ne sont pas toujours aptes à repérer des substances dont les effets sont différés. La publication des données scientifiques n'a été traduite que très lentement en termes réglementaires. Encore ce processus demeure-t-il très

Classement des principaux Eg

Groupe 1a (MG, EG, AMG, AEG) : éthylène glycol méthyl éther; éthylène glycol éthyl éther; acétate d'éthylène glycol méthyl éther et d'éthylène glycol éthyl éther.

Groupe 1b (diMG, diEG, MdiG, diMdiG, MtriG, diMtriG, EdiG, diEdiG) : diéthylène glycol méthyl éther; diéthylène glycol éthyl éther; éthylène glycol diméthyl éther; diéthylène glycol diméthyl éther; éthylène glycol triméthyl éther; diéthylène glycol triméthyl éther; éthylène glycol diéthyl éther; diéthylène glycol diéthyl éther.

Groupe 2 (iPG, nPG, AnPG, BG, ABG, PhG) : éthylène glycol iso-propyl éther; éthylène glycol n-propyl éther et son acétate; éthylène glycol buthyl éther et son acétate; éthylène glycol phényl éther.

Groupe 3, série E (BdiG, ABdiG, EtriG, BtriG); série P (MPG, AMPG, MdiPG, MtriPG) : (série E) éthylène glycol dibuthyl éther et son acétate; éthylène glycol triéthyl éther; éthylène glycol tributyl éther – (série P) propylène glycol méthyl éther et son acétate; propylène glycol diméthyl éther; propylène glycol triméthyl éther.

8. Voir CICCOLLELLA A., 1999.

incomplet. Il reste surprenant, par exemple, qu'une substance pouvant provoquer des malformations congénitales comme EG, ait pu être utilisée comme excipient de médicament, y compris longtemps après la mise en évidence de sa toxicité (le premier avis d'alerte concernant cette substance a été publié par les départements de la santé et du travail de l'État de Californie en mai 1982, mais elle était encore utilisée en novembre 1995 dans un médicament anti-acné en France). Cet exemple est une claire illustration des sérieuses carences du dispositif actuel de gestion des risques liés aux nouvelles substances chimiques (voir p. 259).

Les dioxines : potentiel dangereux et exposition humaine

Les polychlorodibenzo-*p*-dioxines (PCDD), et au premier rang, la célèbre « dioxine de Seveso », la 2, 3, 7, 8-tétrachlorodibenzo-*p*-dioxine (2, 3, 7, 8-TCDD), sont présentes partout dans l'environnement. Elles y sont associées à d'autres molécules produites dans les mêmes circonstances, les polychlorodibenzofuranes (PCDF ou « furanes »). S'apparentent à ces composés les polychlorobiphényles (PCB plus connus sous le nom de pyralène), qui sont, eux, essentiellement d'origine industrielle.

Ces molécules de structure chimique proche, sont regroupées sous le terme « d'hydrocarbures aromatiques polycycliques chlorés » (HAPC). Elles produisent des effets toxiques similaires.

Potentiel dangereux des HAPC

• *Cancérogénicité des HAPC*

L'exposition à la 2, 3, 7, 8-TCDD ne déclenche pas la survenue d'un type de cancer donné (cancer du poumon par exemple), et le risque qui lui est associé est faible chez l'homme. Ceci explique qu'il ait fallu plus de 25 ans au Centre international de recherches sur le cancer pour affirmer que la dioxine était un cancérigène certain pour l'homme (classe 1). Cette conclusion est basée essentiellement sur l'étude des populations de Seveso et de travailleurs de l'industrie chimique, exposées de 500 à 1 000 fois plus que la population générale. Encore le

CIRC ne se prononce-t-il pas sur le pouvoir cancérigène des autres HAPC, faute d'études épidémiologiques spécifiques de ces molécules.

Expérimentalement, les HAPC sont sans aucun doute des cancérigènes puissants chez l'animal, mais ils ne sont pas mutagènes. Leur cancérigénicité ne serait pas spécifique d'un ou plusieurs types de cancers particuliers, mais liée à leur capacité à faciliter le développement de cancers initiés par d'autres agents chimiques, physiques, voire biologiques : ce sont des promoteurs.

Ceci est d'une extrême importance pour l'évaluation du risque cancérigène : le processus de cancérogenèse, selon ce mécanisme d'action tel qu'il est actuellement admis par la communauté scientifique, fait qu'il existerait un seuil en dessous duquel le risque est nul. La difficulté consiste alors à déterminer à quelle quantité de produit ingéré se situe ce seuil d'innocuité théorique.

• *Études sur la reproduction*

Les très nombreuses études conduites sur le sujet sont contradictoires. Les furanes, et peut-être aussi les PCB sont toxiques pour le fœtus. On a observé des altérations du développement psychomoteur des nouveau-nés après exposition prénatale ou périnatale aux HAPC, à doses fortes ou relativement fortes, ce qui justifie les travaux actuels conduits pour des expositions moindres.

Chez l'animal, les HAPC sont sans aucun doute responsables de malformations congénitales (ils provoquent des becs de lièvre et des malformations du rein et des urètres) et fœtotoxiques (abortifs notamment). Chez le primate, ils peuvent être responsables d'une baisse de la fertilité, accroître le risque d'affections de l'utérus et altérer la qualité du sperme chez le rongeur. Les données chez l'homme sont moins nettes.

• *Autres effets sanitaires des HAPC*

Chez l'homme, l'effet aigu le mieux démontré est une forme d'acné, dénommé chloracné, qui survient à forte ou très forte exposition. Elle a été observée à Seveso ou chez les travailleurs de l'industrie chimique.

De très nombreuses manifestations toxiques (immunologiques, neurologiques, métaboliques – risque accru de diabète par exemple) ont été rapportées à fortes doses, mais la démonstration d'un lien de cause à effet avec l'exposition aux HAPC reste discutée. Cette famille « diabolique », reste encore bien mystérieuse.

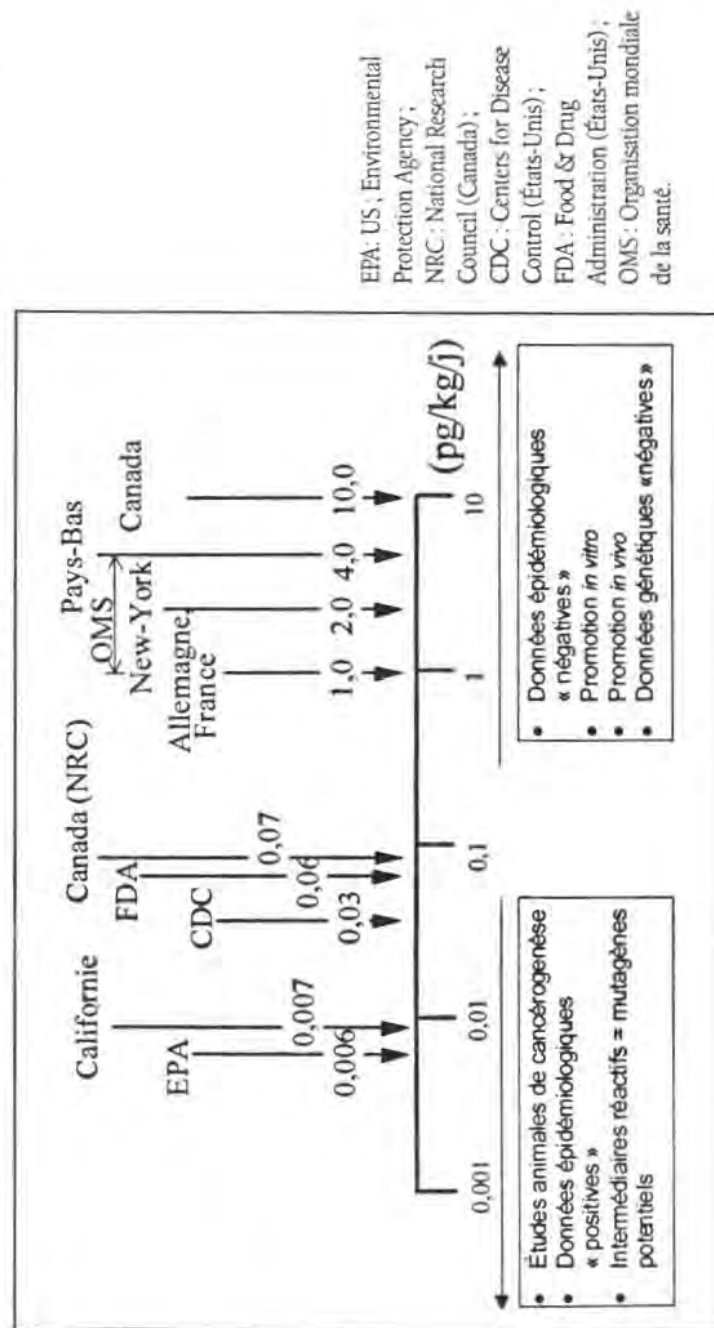
Exposition humaine aux HAPC

Les expositions les plus importantes des populations humaines aux HAPC sont professionnelles. Elles résultent le plus souvent d'accidents de production ou surviennent lors de contaminations involontaires, comme à Seveso (Italie), Times Beach (Missouri, États-Unis), Yusho (Japon), YuCheng (Taiwan). L'homme peut également être exposé aux dioxines avec l'emploi de produits tels que les phénoxyherbicides, chlorophénols... contaminés par les PCDD/F et l'utilisation des PCB. Ainsi, l'armée américaine a largué massivement des tonnes de défoliants contaminés par les PCDD/PCDF sur les forêts lors de la guerre du Vietnam.

Tout phénomène de combustion de matériaux organiques ou comportant du chlore, du carbone et de l'oxygène produit des HAPC. Il ne peut donc y avoir d'exposition nulle aux HAPC. La sidérurgie et l'incinération des déchets sont parmi les activités industrielles les plus productrices de HAPC. Dans le dernier cas, les normes d'émission autorisées viennent d'être très sensiblement baissées. Or, ce sont des composés stables et résistants à la dégradation chimique, biologique et physique. Ils sont par ailleurs solubles dans les graisses. Ces caractéristiques expliquent leur accumulation dans les chaînes alimentaires. On estime que l'homme ingère tous les jours 2,4 picogrammes (un millionième de millionième de gramme) de dioxines par kilo de poids de corps à 95 % au moins par l'alimentation, souvent à distance des sources particulières de ces composés. Bien entendu, la situation est différente en cas d'exposition professionnelle. Même dans les environs d'une installation productrice de HAPC, l'exposition des populations est en règle générale insignifiante, sauf si les émissions sont très importantes.

Dans les pays industrialisés, l'ensemble de la population est quotidiennement exposée à de faibles quantités de HAPC. Aux niveaux cou-

FIGURE 1-2. – LES DOSES JOURNALIÈRES JUGÉES TOLÉRABLES PROPOSÉES PAR DIFFÉRENTS ÉTATS OU ORGANISMES SCIENTIFIQUES POUR LES HAPC.



rants d'exposition des populations, les risques potentiels concernant la reproduction et le développement psychomoteur des enfants sont les plus préoccupants, bien que leur réalité ne soit pas démontrée.

Des études conduites en Europe depuis le début des années quatre-vingt montrent une réduction sensible des niveaux d'émission et d'exposition aux HAPC du fait des efforts de maîtrise des sources industrielles.

Les dioxines sont particulièrement redoutées, bien que l'homme paraisse un animal particulièrement résistant à leurs effets, par comparaison avec divers animaux de laboratoire. Les controverses scientifiques sont loin d'être closes. Les agences spécialisées y concourent, d'une façon bien involontaire. Ainsi, certaines agences américaines (mais pas toutes) considèrent que les HAPC sont des cancérrogènes complets agissant sans seuil, bien que non mutagènes. L'US-EPA (l'agence américaine de l'environnement) applique un modèle d'extrapolation de haute à basse dose et en déduit une dose journalière tolérable correspondant à un supplément de risque de mourir d'un cancer au cours d'une vie de 1 millionième. En revanche, l'Organisation mondiale de la santé retient une approche toxicologique par application de facteurs de sécurité à la dose expérimentale la plus faible pour laquelle il est observé un effet pathologique chez l'animal (voir figure 1-2). Ces différentes institutions s'appuient sur des comités d'experts – tous éminemment compétents, bien sûr – qui, selon leur culture (et parfois leurs valeurs) peuvent privilégier des approches du risque différentes. Les connaissances scientifiques s'enrichissent constamment. Ces éléments expliquent les larges divergences d'appréciation (voir figure). Le public et souvent les experts eux-mêmes y perdent souvent leur latin...

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques ou HAP constituent une vaste famille de quelques centaines de composés de structure chimique commune. Le plus connu est le benzo(a)pyrène ou BaP. Tous les phénomènes de combustion sont à l'origine de leur formation (incinération, sidérurgie, moteurs automobiles, feux de cheminée, tabagisme, combustion du gaz...). Ils sont toujours émis sous forme de mélange, avec des proportions variables selon la source. Le chauffage résidentiel et les pots d'échappement des véhicules de type diesel

constituent la principale source d'émission en dehors des activités industrielles. Dans une pièce où l'on fume, des teneurs de 22 ng/m³ sont communément mesurées.

Face à cette multitude de composés, les scientifiques se sont focalisés sur 16 HAP particuliers dont les effets nocifs sont mieux connus ou qui sont plus fréquents.

Les connaissances sur les niveaux de concentration des HAP sont très parcellaires et d'inégale qualité selon la source. Les quantités émises par les voitures et les cigarettes sont mieux connues que celles issues de l'incinération des déchets. La mesure des HAP dans ces effluents n'est pas actuellement une obligation réglementaire. Avec la sortie prochaine de normes de qualité de l'air pour certains HAP, il faut cependant s'attendre à voir apparaître dans les prochaines années des normes spécifiques par source d'émission.

Les HAP sont présents dans tous les milieux, que ce soit l'air, l'eau et les sols, ainsi que dans les aliments végétaux ou animaux usuellement consommés.

Dans l'air, ils se présentent soit sous forme gazeuse, pour certains HAP les plus légers, soit attachés à des particules qui restent en suspension. Les HAP sont suivis depuis de nombreuses années dans les atmosphères industrielles où une réglementation a été mise en place. Une valeur commune de 0.2 mg/m³ est en vigueur dans de très nombreux pays, dont la France. Les industries de l'hexagone sont de plus soumises à une recommandation de la Caisse nationale d'assurance maladie (CNAM) qui indique pour le seul Benzo(a)Pyrène, une norme fixée à 150 ng/m³⁹. Dans l'air ambiant, les préoccupations sont plus récentes et il n'y a pas encore de réglementation en vigueur. L'Union européenne prépare actuellement une Directive pour le BaP. Les concentrations de benzo(a)pyrène mesurées dans l'air de nos campagnes sont en moyenne de 0.2 ng/m³; dans les villes, elles varient de 1 à 10 ng/m³, avec des valeurs plus élevées au voisinage des voies de fort trafic et d'émissions industrielles (sidérurgie, pétrochimie).

Le décret du 3 janvier 1989 réglemente la quantification des HAP dans les eaux, notamment celles destinées à la consommation

9. Un ng (nanogramme) = 10⁻⁹ grammes, soit un milliardième (1/10⁹) de gramme.

humaine. Depuis décembre 1998, 5 HAP (liste p. 310) doivent être mesurés. La concentration totale ne doit pas dépasser 200 ng/l. Pour le seul benzo(a)pyrène, cette valeur doit être inférieure à 100 ng/l. En fait, les concentrations habituellement mesurées vont de 1 à 10 ng/l et respectent donc largement la réglementation en vigueur. Les HAP ne sont guère solubles dans l'eau, et s'y retrouvent principalement fixés aux particules en suspension.

La recherche des pollutions des sols par les HAP est beaucoup plus récente. Les premiers recensements publiés par le ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement montrent que ces polluants sont retrouvés une fois sur 5. Les activités industrielles incriminées sont les anciennes usines à gaz, la sidérurgie (hauts fourneaux), les charbonnages ou la pétrochimie. Sur ce type de terrain, les teneurs peuvent atteindre jusqu'à 10 000 ou 20 000 mg de HAP par kg de terre analysée, alors que les concentrations typiques relevées sur des sols non pollués sont de 1 à 10 mg/kg de terre en milieu urbain, et 1 000 fois moins en milieu rural.

L'accumulation des HAP dans les aliments végétaux et animaux représente la voie d'exposition majeure pour l'organisme humain. Cet apport a été évalué entre 1 et 5 µg par jour, et jusqu'à 10 µg pour les gros mangeurs de poissons fumés. Les denrées incriminées sont essentiellement celles qui sont grillées (sur barbecue notamment) ou fumées (poissons).

• Effets sur la santé

Le passage des HAP dans l'organisme humain s'effectue par inhalation, ingestion ou à travers la peau même lorsque celle-ci est saine. Dans des conditions de travail exposées, la peau et les poumons sont des voies de pénétrations prépondérantes tandis que l'alimentation est majoritaire pour la population générale.

En raison de leur forte affinité avec les graisses, ces molécules s'accumulent dans l'organisme et y perdurent de nombreux mois, voire des années. Après transformation, ils sont éliminés par les urines mais ils vont aussi pour partie s'associer avec certaines structures cellulaires, tel l'ADN du noyau des cellules, en formant des composés appelés adduits. C'est le point de démarrage du processus cancérogène. L'estimation de l'imprégnation de l'organisme s'appuie

principalement sur la mesure d'un dérivé de certains HAP, le hydroxypyrene, reconnu comme un marqueur fiable.

Les effets sur la santé sont peu décrits, à l'exception notable du cancer. La toxicité aiguë se manifeste par des troubles neurologiques attribués au naphtalène. Des effets chroniques non cancérogènes ont également été observés mais seulement au cours d'études réalisées sur des animaux. Les conclusions pour l'homme ne sont donc pas évidentes. Il pourrait souffrir d'atteintes rénales, de l'intestin, de céphalées, de perturbations de certaines hormones. Des troubles pulmonaires ainsi qu'une perte de pigmentation de la peau ont également été signalés.

Plusieurs études épidémiologiques en milieu professionnel ont montré que les HAP sont impliqués dans l'apparition de nombreuses formes de cancers. La localisation du cancer est liée à la voie de pénétration de ces substances : cancer du scrotum dû au passage cutané (c'est l'une des premières formes de cancer professionnel mise en évidence, au XVIII^e siècle, chez les petits ramoneurs de Londres), cancer de la vessie, de l'œsophage et de l'estomac lors de l'ingestion d'aliments très fumés, et des voies nasales ou du poumon après inhalation. Comme c'est fréquemment le cas, les limites de ces études sont liées au fait que les personnes observées étaient en réalité soumises, le plus souvent à un mélange de polluants (divers HAP, mais aussi des métaux...) et que le rôle des uns et des autres est toujours difficile à identifier. Malgré ces incertitudes, les confrontations entre ces données épidémiologiques et les travaux expérimentaux chez l'animal ont conduit les instances internationales compétentes à classer certains HAP comme des cancérogènes probables ou possibles (catégories 2 A ou 2 B du CIRC).

Une valeur d'excès de risque unitaire de cancer du poumon a pu être déterminée pour le BaP inhalé ($8,7 \cdot 10^{-3} \text{ [ng/m}^3\text{]}^{-1}$) : c'est-à-dire que sur 100 000 sujets exposés, sur une longue période, à respirer un air contenant 1 ng/m³ de ce HAP, on verra apparaître près de 9 cas de cancer du poumon à cause de ce polluant).

La famille des HAP fait l'objet de recherches scientifiques afin de mieux connaître leurs teneurs dans notre cadre de vie et leurs nocivités. Par mesure de précaution, tout doit être mis en œuvre pour diminuer les concentrations dans notre environnement y compris l'alimentation. Le fumeur « s'injecte » directement des HAP avec les goudrons qu'il inhale.

* Les 16 HAP dans l'air : Acénaphthène ; Acénaphthylène ; Anthracène ; Benzo(a)anthracène ; Benzo(a)pyrène ; Benzo(b)fluoranthène ; Benzo(g,h,i)perylène ; Benzo(k)fluoranthène ; Chrysène ; Dibenz(a,h)anthracène ; Fluoranthène ; Fluorène ; Indéno(1,2,3-c,d)pyrène ; Naphtalène ; Phénanthrène ; Pyrène.

** Les 5 HAP dans l'eau : benzo(3,4)fluoranthène ; benzo(11,12)fluoranthène ; benzo(1,12)perylène ; benzo(3,4)pyrène ; indéno(1,2,3-cd)pyrène.

Le benzène : sources et effets toxiques

Le benzène est un liquide très volatil, peu soluble dans l'eau et très inflammable. Bien qu'il puisse aussi résulter de processus naturels (volcans, feux de forêt...), il provient principalement des activités humaines. La fumée de tabac est la principale source d'exposition chez le fumeur comme chez le fumeur passif. Les émissions d'origine automobile, l'évaporation de pétrole et d'essences, les vapeurs émanant de peintures, colles, cires et détergents, dans lesquels on trouve aussi de petites quantités, en font un polluant qu'on retrouve partout dans notre environnement proche.

Le benzène est l'un des produits de base essentiels de toute la chimie organique dite « aromatique ». La production mondiale est de l'ordre de 32 millions de tonnes. La France, à elle seule, en produit 700 000 tonnes par an et en consomme 750 000 tonnes. Utilisé à l'origine pour ses remarquables propriétés de solvant, son usage tend à diminuer en raison de la réglementation. Les utilisations du benzène restent pourtant multiples : composant des solvants (dans la limite de 0,1 % en volume), matière première de la synthèse organique dans l'industrie chimique (plastiques, fibres synthétiques, caoutchouc de synthèse, résines polyester, produits pharmaceutiques, pesticides...).

En France, on estime que 70 000 personnes sont exposées professionnellement au benzène, surtout dans les industries pétrolières (production, stockage, transport, distribution...), la chimie, les par-

fums, l'automobile... Dans l'atmosphère de travail, la concentration en vapeurs de benzène de l'air inhalé par un travailleur ne doit pas dépasser 5 ppm (16 mg/m³) en moyenne par journée de travail¹⁰. Cependant, il est souvent difficile de situer le niveau moyen d'exposition chez les pompistes exposés aux vapeurs d'essence et aux gaz d'échappement, ou chez les mécaniciens et garagistes lors du lavage des mains ou du dégraissage des pièces métalliques à l'essence.

Après absorption, le benzène est largement distribué par voie sanguine à tout l'organisme. Entre 10 et 50 % est éliminé dans l'air expiré selon l'activité physique et l'importance du tissu adipeux. Moins de 1 % va se retrouver dans les urines. Le reste est transformé par l'organisme, essentiellement dans le foie. Le benzène s'accumule dans les tissus riches en lipides : système nerveux central, moelle osseuse...

Ce sont les sous-produits de sa transformation – ses métabolites – (phénols, diphénols et aldéhyde muconique) qui sont responsables de la toxicité à long terme du benzène. De brèves mais intenses expositions s'accompagnent de troubles neurologiques (maux de tête, fatigue, étourdissements, altération de la mémoire, faiblesse musculaire, accélération du rythme cardiaque...), ainsi que d'une irritation des yeux, de la peau et des voies respiratoires.

Le benzène est surtout connu pour ses effets chroniques. Outre des troubles neurologiques, décrits chez des travailleurs professionnellement exposés, le benzène altérerait la reproduction (perturbation du cycle menstruel, avortements spontanés). Il a surtout une affinité particulière pour la moelle osseuse, lieu de production des lignées cellulaires sanguines. La production des globules blancs et des globules rouges est alors atteinte. Une anémie ou une diminution des fonctions de l'immunité peut en découler. L'exposition chronique peut ainsi provoquer une leucémie.

L'Organisation mondiale de la santé a classé le benzène comme « cancérogène certain » pour l'homme (classe 1) et a établi que le risque de leucémie était proportionnel à l'exposition au benzène. Un projet de Directive de l'Union européenne propose de fixer la valeur limite dans l'air à 5 µg/m³.

10. Décret n° 86-269 du 13 février 1986 modifié par le décret n° 91-880 du 6 septembre 1991.

11. Les rayonnements ionisants

Mécanismes d'action et unités de mesure

Le terme « radiation », peut s'appliquer à la chaleur, à la lumière, aux rayonnements ultraviolets, aux champs électromagnétiques, mais on l'utilise surtout pour les « rayonnements ionisants », c'est-à-dire ceux dont l'énergie est suffisante pour ioniser la matière qu'elles traversent. (Ioniser signifie modifier l'équilibre électronique des molécules, en ajoutant ou retranchant un électron ou en séparant la molécule en deux ions, l'un positif, l'autre négatif.) Ces ionisations peuvent détruire ou modifier les molécules des cellules de l'organisme.

Les dommages consécutifs peuvent conduire à la mort de la cellule, et à la nécrose des tissus quand trop de cellules sont touchées. Ceci se produit aux doses les plus fortes. Les effets aigus de très fortes irradiations peuvent être des brûlures de la peau (identifiées l'année même de la découverte des rayonnements en 1895). Les nécroses des tissus peuvent nécessiter l'amputation d'un membre. Elles peuvent conduire au décès de la victime, par destruction du système nerveux central, par atteinte du système digestif ou du système qui produit les globules blancs. La mort ou des malformations peuvent aussi frapper les fœtus irradiés *in utero*. Des effets aigus moins sévères peuvent consister en une stérilité temporaire, des fibroses ou des cataractes, lesquelles peuvent d'ailleurs survenir plusieurs années après l'exposition.

Si le dommage est faible ou a été suffisamment réparé par les mécanismes de défense de la cellule, celle-ci peut survivre et se reproduire. Mais son matériel génétique peut être atteint, avec des

modifications des molécules qui composent l'ADN. Ces mutations peuvent être à l'origine de cancers et de leucémies qui surviennent des années après l'exposition. Pour les cellules intervenant dans la reproduction (ovocytes, spermatozoïdes, etc.), les mutations peuvent conduire à des malformations dans la descendance. Ces effets peuvent apparaître pour des doses faibles, avec une probabilité d'autant plus forte que la dose est forte.

Rayonnements, radioactivité et doses

Les grandeurs et unités utilisées portent sur trois objets différents.

– La source qui émet l'énergie, et qui peut être un appareil électrique (par exemple pour une radiographie), une réaction nucléaire, ou la désintégration spontanée d'un atome radioactif (isotope radioactif d'un atome stable comme le « carbone 14 » ou le « potassium 40 », ou atome sans isotope stable comme le Radium ou le Plutonium). Dans le cas de la radioactivité, on parle de l'activité de la source, mais il ne faut pas oublier que si la radioactivité produit des rayonnements, tous les rayonnements ne proviennent pas de la radioactivité (ainsi les générateurs de rayons X pour la radiologie).

– L'activité d'une source radioactive se mesure par le nombre de désintégrations par seconde. L'unité est le Becquerel (Bq) et vaut une désintégration par seconde. Du fait de la radioactivité naturelle, le corps humain est lui-même une source dont l'activité est environ 100 Bq par kilo.

– Le rayonnement, qui transporte l'énergie, le plus souvent sous forme de photons (rayons X et rayons Gamma), de neutrons, d'électrons (rayonnement Bêta), de noyaux d'hélium (rayonnement Alpha)¹. On qualifie le rayonnement par la nature des particules qui transportent l'énergie.

– La cible, matière inerte ou vivante qui reçoit de l'énergie par interaction avec le rayonnement. La grandeur importante est la dose, qui est l'énergie reçue par la matière d'une « cible ». Cette dose peut

1. D'autres particules peuvent être concernées, en particulier à très haute altitude et dans l'espace.

être estimée pour une cellule, un organe, pour le corps entier, et même pour une population dans son ensemble.

Il n'y a pas de lien direct entre l'activité d'une source et la dose reçue par une cible. La dose dépendra de l'éloignement, d'écrans éventuels, et même du mode d'interaction rayonnement-matière, de sorte qu'une très forte activité n'engendre pas forcément une très forte dose. Il y a une certaine analogie avec des polluants classiques, l'activité correspondant à leur quantité dans l'environnement et la dose à la quantité reçue par l'individu. On dit qu'un individu est contaminé quand il a incorporé des radionucléides, autrement dit des particules radioactives. La source radioactive est alors à l'intérieur de l'organisme, et génère des doses d'irradiation aux organes.

— La dose s'exprime différemment, selon que l'on s'intéresse à une masse de matière, à un organe ou au corps entier. La dose absorbée est la grandeur physique de base. C'est l'énergie déposée par unité de masse du milieu. L'unité internationale est le Gray, (Gy). Son unité est le joule par kilogramme. C'est la grandeur pertinente pour traiter des effets de fortes doses (mort cellulaire, etc.).

Pour l'induction de cancer, certains types de rayonnements sont plus « efficaces », et certains tissus sont plus sensibles. On utilise donc une autre unité, la dose efficace, qui est mesurée en Sievert (Sv). Elle se déduit du Gray par un double jeu de pondération, portant sur la nature du rayonnement, et sur les organes touchés. Ces facteurs de pondération sont fondés sur des résultats épidémiologiques et expérimentaux, de façon à ce que la dose efficace soit proportionnelle au risque. L'unité de mesure pour les rayonnements n'est donc pas une unité physique, mais un indicateur basé sur une équivalence en risque. Cette « dose efficace » est ainsi un indicateur de gestion pratique. Si un seul organe est exposé (par exemple la thyroïde, recevant un Gray à cause d'un rayonnement Bêta), on peut y associer une dose efficace grâce aux jeux de pondération (ici elle est de 0,05 Sv), et comparer ainsi cette exposition à une exposition d'un autre type à un autre organe, et surtout à la valeur limite d'exposition qui s'exprime en Sievert.

Ces unités remplacent depuis 20 ans des unités anciennes qui restent cependant encore utilisées, le rad (100 rad = 1 Gy), et le rem (100 rem = 1 Sv).

Règles de protection contre les rayonnements et normes

La radioprotection vise le risque nul en matière d'effets aigus, mais applique une logique d'acceptabilité d'un risque faible pour l'induction de cancer et de malformations dans la descendance. Les règles sont définies par une organisation non gouvernementale, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), et reprises par une directive européenne. La limitation des doses n'est pas la seule obligation. Il faut de plus que la pratique industrielle ou commerciale soit justifiée (pas de pratique inutile), et que les doses, en dessous des limites, soient optimisées (maintenues aussi basses que raisonnablement possible en tenant compte des considérations économiques et sociales).

Ainsi, les limites de dose sont clairement définies comme la « frontière de l'inacceptable ». Les dépasser est inacceptable, mais, en dessous, le niveau d'exposition n'est acceptable que si le principe d'optimisation a été correctement appliqué.

Pour les travailleurs, la limite est une dose efficace annuelle de 20 mSv². Pour le public la limite est de 1 mSv en 1 an.

Le système complet est plus complexe, et comprend des doses limites à l'organe, et la possibilité de prendre en compte des moyennes sur 5 ans. De plus les limites ne s'appliquent pas aux patients, ni aux situations de fait associées à l'irradiation naturelle, aux situations post-accidentelles ou « héritées du passé » (cf. sites pollués). La limite définie pour le public est d'ailleurs inférieure à l'irradiation naturelle moyenne.

2. Niveau auquel la CIPR associe un risque de décès par cancer radio-induit, sur une vie entière, d'environ 10^{-5} . Pour le public, la limite de 1 mSv correspond à un risque de $5 \cdot 10^{-5}$. La comparaison de cette échelle de risque avec celle parfois considérée pour celui des toxiques chimiques montre ainsi des écarts surprenants.

ANNEXE II

SOURCES D'INFORMATION POUR LA SANTÉ ET L'ENVIRONNEMENT SUR LA TOILE

L'accès à l'information sur la santé et l'environnement a été complètement bouleversé par la mise en ligne, via Internet, de sources auparavant réservées aux professionnels de l'information. Deux questions se posent donc pour qui cherche à s'informer sans être expert : quelle est l'information disponible, quelle est l'information fiable ?

Information structurée et information rédigée

Pour illustrer la démarche, prenons l'exemple de la dioxine, produit très polémique s'il en est.

Lorsqu'on lance une requête d'information avec un moteur de recherche sur Internet (Yahoo, AltaVista, Lycos ou Hotbot, pour ne citer que ceux-ci), il est préférable d'utiliser le mot anglais « dioxin », car les moteurs de recherche en Français sont moins performants. On obtient en réponse des liens vers des sites web, une information dite « textuelle », rédigée sous forme d'articles ou de commentaires. En recherchant « dioxin », on peut trouver aussi bien une bibliographie qu'une page sur la campagne « stop dioxin » ou une page institutionnelle des industries du chlore, ou encore des expertises et commentaires par des universitaires ou des institutions gouvernementales. On

n'obtient pas, ou de manière très marginale, les données scientifiques sur le sujet, ni même la trace de leur existence. Ce type d'information est regroupé en information structurée ; elle figure dans les bases de données, auxquelles on peut également accéder par Internet.

Les bases de données

Naguère outil exclusif du documentaliste, les bases de données ont amélioré leur interface et leur mode d'accès pour permettre à chacun de les utiliser. Le seul obstacle est que beaucoup ne sont accessibles que sur abonnement payant, en raison de coûts de production élevés. Mais il existe pour la santé et l'environnement suffisamment de bases de données libres d'accès pour collecter une grande masse d'information. Que trouve-t-on dans les bases de données ?

- Des références bibliographiques, c'est-à-dire tout ce qui est nécessaire pour retrouver un document dans une bibliothèque ou en obtenir une photocopie auprès d'un service spécialisé. Ces documents sont analysés et munis de mots clés qui servent à la recherche d'information. Les bases de données bibliographiques ne contiennent pas le texte des documents recensés, mais le plus souvent un résumé est annexé à la référence bibliographique. Pour rechercher des informations sur la santé et l'environnement, on utilise la plus grosse base de données en médecine et biologie, Medline : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/PubMed/> Attention : les documents référencés dans Medline sont uniquement des articles de périodiques biomédicaux. Les livres, rapports administratifs, thèses, communications à des congrès, etc., sont parfois recensés par d'autres bases de données bibliographiques, mais ne figurent pas dans Medline.

- Des données de toxicologie et d'évaluation des risques pour des produits chimiques :

ChemID (<http://igm.nlm.nih.gov/> puis ChemID) permet l'identification de 340 000 produits chimiques et la localisation des informations les concernant dans plusieurs bases de données. La fiche « dioxine » précise qu'il s'agit de « la » dioxine, c'est-à-dire la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-p-dioxine, mentionne l'évaluation de ce produit en tant que cancérigène et la disponibilité d'informations sur 2 bases de données facilement accessibles : Medline et HSDB.

HSDB (<http://toxnet.nlm.nih.gov/servlets/simple-search> puis « Toxicology Data Search ») fournit les données de toxicité sur près de 4500 produits chimiques. On y retrouve une fiche dioxine très détaillée (plusieurs pages).

IRIS (<http://www.epa.gov/iris/>) fournit les évaluations de risques liées à 470 produits chimiques. On n'y retrouve pas de fiche dioxine, mais une fiche plus générale sur les PCB.

Dans la très grande majorité des cas, on a collecté avec une recherche dans les 4 bases citées suffisamment d'informations pour avoir besoin de les ordonner, les vérifier et chercher à leur donner du sens.

À l'issue de la recherche bibliographique, on trie les références selon la nature de l'information : résultats d'études, éditoriaux, lettres à l'éditeur, cas cliniques, revues de la littérature. Lorsqu'on connaît peu un sujet, on commence par lire les revues de la littérature, qui fournissent une vue d'ensemble sur la question. On approfondit avec les études récentes (épidémiologiques, biologiques, cliniques) puis avec le reste de l'information.

Les informations collectées doivent être vérifiées en recourant aux autres ressources Internet.

Les ressources Internet : que chercher et pour quoi faire ?

Pour traiter une masse d'informations bibliographiques pas toujours cohérentes, il faut utiliser les ressources Internet avec méthode : privilégier l'information provenant de sites institutionnels (ministères, organismes scientifiques ou universitaires, agences de l'OMS ou de la communauté européenne) et parmi celle-ci celle qui a un caractère d'expertise ou de consensus.

Expertises : le Centre International de recherche sur le cancer (CIRC) a entre autres missions celle d'expertiser les produits susceptibles d'être cancérigènes. Les expertises sont disponibles dans des monographies très détaillées. Dans le cas de la dioxine, la vérification s'impose car les données fournies par ChemID et HSDB sont contradictoires. La liste complète des produits évalués et leur classification sont disponibles en français à l'adresse suivante : <http://193.51.164.11/monoeval/crthallfr.html>. Il faut ensuite utiliser les options de recherche de son navigateur.

Parmi les autres sites proposant des expertises, on citera :

– Environmental Protection Agency (US) : <http://www.epa.gov>. Outre l'accès à des données brutes sur l'environnement aux États-Unis (eau potable, polluants dans les sols, etc.), on dispose des expertises de l'« Office of Research and Development » <http://www.epa.gov/ORD/publications/>.

– Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR, US) : <http://www.atsdr.cdc.gov>. Fournit des informations en principe destinées au grand public. Leur utilisation est recommandée lorsqu'on commence une recherche, car elles sont très claires et synthétiques.

– Le ministère des Affaires sanitaires et sociales en France dispose d'un site consacré à la santé : <http://www.sante.gouv.fr/index.htm>. Les dossiers comportent parfois des informations très pointues et à jour ; l'expertise est surtout présente dans les sites spécialisés : amiante, alcool et douleur.

– Le ministère de l'Environnement donne lui aussi accès aux recommandations et analyses du Comité de la prévention et de la précaution (CPP) dans son dossier « Pollution et prévention des risques majeurs » : <http://www.environnement.gouv.fr/actua/cominfos/dosdir/DIRPPR/dosdppr.htm>. On y retrouve l'avis du CPP sur les dioxines.

Pour s'orienter dans les domaines concernant la santé et l'environnement, il existe bien sûr d'autres sources. Elles sont listées de manière plus ou moins exhaustives, sur deux sites très importants :

– Le CHU de Rouen : <http://www.chu-rouen.fr/> analyse tous les sites francophones sur la santé et oriente vers le reste du monde. Les sections « épidémiologie et santé publique », « santé environnementale » listent des ressources utiles.

– L'université libre de Bruxelles (ULB) propose une liste exhaustive des points de départ concernant l'environnement (une liste de listes) : <http://www.ulb.ac.be/ceese/meta/cdsfrcom.html>. Les informations sont à manier avec précaution car tous les sites ne sont pas universitaires.

D'une manière générale, il convient, dès que l'on accède à une information sur Internet, d'estimer dans quelle mesure on peut la considérer comme fiable. On accorde en principe plus de crédit aux sites universitaires ou gouvernementaux qu'aux pages personnelles,

aux sites régulièrement mis à jour, aux sites précisant leurs organismes de rattachement et le but qu'ils poursuivent, aux informations signées par des auteurs reconnus, etc. Le CHU de Rouen propose des critères d'évaluation pour les sites concernant la santé : <http://www.chu-rouen.fr/dsii/publi/critqualv2.html>.

Bon vent sur la Toile...

BIBLIOGRAPHIE

- APPA Basse-Normandie, *La Qualité de l'air dans les locaux domestiques. Recommandations à la construction, la rénovation et l'utilisation du logement*, ministère de l'Emploi et de la Solidarité-Direction générale de la santé, septembre 1998.
- CICOLLELA, A., « Les éthers de glycol », *Encyclopédie médico-chirurgicale*, 1999, 16-047-D-10.
- DELÉAGE J.-P., *Histoire de l'écologie, une science de l'homme et de la nature*, La Découverte, Paris, 1991.
- DUBERTRET L. et JEANMOUGIN M., *La Peau et le soleil*, Ouverture médicale Hermann, Eds des Sciences et Arts, Paris, 1993.
- FERRY L., *Le Nouvel Ordre écologique. L'arbre, l'animal et l'homme*, Grasset, Paris, 1992.
- Haut Comité de la santé publique, *Politiques publiques pollution atmosphérique et santé : poursuivre la réduction des risques*, 2000.
- HÉLAN-LE ROY O., SANDRET N., « Expositions professionnelles : SUMER 94, l'état des lieux », *Santé et travail*, n° 20, juillet 1997, p. 13 à 17.
- HÉLAN-LE ROY O., SANDRET N., « Une approche statistique du bruit au travail : un risque sourd », *Santé et travail*, n° 20, juillet 1997, p. 30 à 31.
- INSERM, *Éthers de glycol. Quels risques pour la santé ?* Collection des Expertises collectives, Paris, 1999.
- INSERM, *Plomb dans l'environnement. Quels risques pour la santé ?* Collection des expertises collectives 1999, Paris.
- KAHN A. (dir.), *Les Plantes transgéniques en agriculture. Dix ans d'expérience de la Commission du génie biomoléculaire*, John Libbey, Montrouge, 1997.
- KOURILSKI Ph., VINEY G., *Le Principe de précaution, rapport au Premier ministre*, La Documentation française, Paris, 2000.

- MATTEI J.-F., *Les Liens entre la santé et l'environnement, notamment chez l'enfant*, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Assemblée nationale (n° 2588), Sénat (n° 245), Paris, 1996.
- MEYNADIER, J.-C., MEUNIER L., en collab. avec PEYRON, J.-L., *Peau et soleil*, Privat, coll. « Les Classiques de la santé, Toulouse, 1999.
- Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle, *La Surveillance des atmosphères de travail. Transparences. Informations sur la réglementation du travail*.
- MURARD L., et ZYLBERMAN P., *L'Hygiène dans la République. La santé publique en France, ou l'utopie contrariée 1870-1918*, Fayard, Paris, 1996.
- MORELLE A., *La Défaite de la santé publique*, Flammarion, Paris, 1996.
- Pollution atmosphérique à l'intérieur des bâtiments : sources, expositions et risques sanitaires*, Conseil supérieur d'hygiène publique de France, secrétariat d'État à la Santé, 1995.
- TABUTEAU D., HERAIL E., *La Sécurité sanitaire*, Berger-Levrault, Paris, 1994.
- THOMAS P., AMBLARD P., en collab. avec BEANI J.-C., REYMOND J.-L. et ROTTELEUR G., *Photodermatologie et photothérapie*, Masson, Paris, 1988.
- WAL J.-M. et PASCAL G., « Nouveaux aliments, nouveaux risques ? », *Médecine et Nutrition*, 1999.

LES AUTEURS

Denis BARD est enseignant-chercheur à l'École nationale de la santé publique. Médecin généraliste, puis épidémiologiste, il est titulaire d'un DEA en nutrition humaine et d'un DEA en santé publique. Il travaille depuis de nombreuses années dans le domaine de l'évaluation des risques pour la santé publique liés à l'environnement et au milieu de travail. Il s'est intéressé aux risques chimiques, microbiologiques et physiques. Membre du Comité de la prévention et de la précaution du ministère chargé de l'Environnement et de nombreux groupes d'experts et sociétés savantes, il est auteur de plus d'une soixantaine d'articles ou d'ouvrages scientifiques et de vulgarisation dans le domaine de la santé publique et de l'évaluation des risques liés à l'environnement.

William DAB a une double formation de clinicien (docteur en médecine, ancien interne des Hôpitaux de Paris) et de scientifique (spécialiste qualifié en santé publique, docteur ès Sciences en épidémiologie). Au moment de la rédaction de ce livre, il était Délégué général de l'Association pour la prévention de la pollution atmosphérique et chercheur au sein du Service des études médicales d'Edf-Gdf. Il a pratiqué l'épidémiologie dans différentes institutions françaises (INSERM, Observatoire régional de la santé d'Ile-de-France). Il a enseigné l'évaluation des risques en France, à l'Université et à l'École nationale de santé publique, et au Canada, à l'université McGill (Montréal). Il préside le Comité scientifique du programme de recherche interministériel PRIMEQUAL-PREDIT. Ses travaux portent sur l'évaluation et la gestion des risques sanitaires liés aux facteurs d'environnement. Il a publié 70 articles scientifiques, deux ouvrages en épidémiologie et a collaboré à une trentaine d'ouvrages collectifs.

Frédéric DOR est docteur en pharmacie, docteur ès Sciences. Spécialiste en évaluation des risques sanitaires liés aux pollutions environnementales. Pendant 7 ans, il a eu la responsabilité de structurer et valoriser la recherche en environnement-santé au sein de l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) dans le service Recherche impacts et milieux. Il est actuellement en charge de l'évaluation des risques au sein du département Santé Environnement de l'Institut de veille sanitaire.

Marcel GOLDBERG est docteur en médecine, docteur en mathématiques appliquées, docteur en biologie. Professeur des Universités en biostatistiques-informatique médicale (UFR Paris-Ouest), il est responsable du département Santé Travail de l'Institut de veille sanitaire et directeur de l'unité 88 de l'INSERM. Il préside le Conseil scientifique du programme « Environnement Santé » du ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement. Il est membre du comité scientifique en matière de limites d'expositions professionnelles aux agents chimiques de la Commission européenne (DG V). Ancien président de l'Association des épidémiologistes de langue française (ADELF), il est président du Collège des enseignants en informatique médicale, épidémiologie et statistique.

Philippe Hubert a une formation d'ingénieur (École polytechnique), et de statisticien (École nationale des statistiques et de l'administration économique). Il travaille depuis vingt ans dans le domaine de l'évaluation des risques, d'abord en liaison avec l'INSERM, puis au sein de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire, où il est responsable du service d'évaluation et de gestion des risques. Il a réalisé de nombreuses évaluations dans le domaine des « faibles doses », en particulier de rayonnements, et des évaluations probabilistes, notamment pour le transport des matières dangereuses radioactives et chimiques. Ancien président de la Society of Risk Analysis européenne, il est membre du Comité de prévention et de la précaution du ministère chargé de l'Environnement. Il est responsable du groupe de travail auprès du Comité national de sécurité sanitaire chargé d'investiguer les méthodes d'évaluation du risque.

Jean-Luc POTELON, ingénieur en génie civil, urbanisme et génie sanitaire, a été pendant plus de quinze ans chef d'un service santé environnement dans un département français. Il est actuellement professeur à l'École nationale de la santé publique, spécialiste en analyse et gestion des risques environnementaux. Il est par ailleurs expert auprès de l'OMS. Il a une grande expérience dans l'étude des relations entre la santé et l'environnement, notamment dans le domaine des eaux destinées à la consommation humaine. Il préside la commission « Environnement-Santé » de la Société française de santé publique.

Philippe Quétel, médecin épidémiologiste, a été coordinateur de 1991 à 1993 du projet ERPURS (Évaluation des risques de la pollution urbaine pour la santé) mené en Île-de-France sous l'égide de l'Observatoire régional de la santé d'Île-de-France. Depuis 1994, il est coordinateur adjoint du département Santé Environnement de l'Institut de veille sanitaire (ex-Réseau national de santé publique) et chargé du programme Air et Santé. Il est actuellement responsable du programme de surveillance épidémiologique des effets sur la santé de la pollution atmosphérique urbaine mis en place par l'Institut de veille sanitaire dans neuf grandes agglomérations françaises. Il est membre du Conseil national de l'air et du Conseil scientifique du programme de recherche PRIMEQUAL-PREDIT piloté par le ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement.

Denis Zmirou est docteur en médecine, docteur ès Sciences et diplômé de l'université de Harvard. Enseignant-chercheur à l'université Joseph-Fourier (Grenoble-1), il est membre du Haut comité de santé publique et du Comité de la précaution et de la prévention, et président d'honneur de la Société française de santé Publique qu'il a présidée pendant cinq ans. Il est auteur ou co-auteur de plus d'une centaine d'articles et d'ouvrages collectifs scientifiques ou de vulgarisation dans le domaine de la santé publique et de l'évaluation des risques liés à l'environnement. Il travaille aussi depuis 1999 au sein de l'Institut de veille sanitaire.

GLOSSAIRE

Allergène : substance biologique responsable d'une réaction physiologique de type allergique.

Anthropique : qui est propre à l'homme ou qui résulte de son action.

Bioaccumulation : phénomène qui permet à certaines substances, notamment toxiques, de pénétrer certains organismes pour s'y concentrer progressivement au fil de la chaîne alimentaire.

Biocontaminants : pollution issue de micro-organismes de l'air ou de l'eau : bactéries, virus, champignons...

Biodiversité : variété des espèces vivantes peuplant la biosphère ou un écosystème donné.

Biotope : aire géographique plus ou moins étendue qui offre à chaque espèce végétale et animale les conditions de vie (alimentation, interaction entre espèces, ensoleillement, eau, agents facilitateurs de reproduction) nécessaires à son maintien et à sa reproduction. Les groupements d'êtres vivants qui vivent dans un biotope forment des **biocénoses**. Biocénose et biotope forment un écosystème.

Brai (de houille ou de pétrole) : résidus pâteux de la distillation de la houille ou du pétrole.

Cas témoins : protocole d'étude épidémiologique par lequel on compare les conditions d'exposition (historique, professionnel, familial, etc.) chez des personnes ayant développé une maladie (les cas) à des personnes en bonne santé (les témoins).

Chaîne alimentaire : suite d'êtres vivants dans laquelle les uns (prédateurs) mangent ceux qui les précèdent dans la chaîne, avant d'être mangés par ceux qui les suivent. Cela comprend les producteurs primaires (végétaux), les consommateurs de premier ordre (les herbivores), les consommateurs de

second ordre (les carnivores) et enfin les décomposeurs ou bio-réducteurs (micro-organismes).

Cohorte : terme épidémiologique indiquant un ensemble d'individus ayant vécu un même événement ou faisant l'objet d'une même observation durant une période de temps.

Dioxyde de soufre : gaz incolore, odorant au-delà de quelques mg/m³, soluble dans l'eau, irritant, produit par l'oxydation du soufre.

Dose reçue : énergie reçue par la matière d'une « cible ». Cette dose peut être estimée pour une cellule, un organe, pour le corps entier, et même pour une population dans son ensemble. Les doses maximales autorisées pour un individu sont calculées en fonction de l'effet biologique (connu ou estimé) provoqué par le type et la quantité de rayonnement.

Dose létale 50 (DL50) : en laboratoire, dose expérimentale qui entraîne 50 % de décès parmi les animaux exposés à l'agent testé.

Effluents : rejets liquides ou gazeux d'une activité humaine pouvant contenir des polluants.

Gaz à effet de serre : l'effet de serre permet la vie sur Terre. La température globale d'un corps dans l'espace est déterminée par l'équilibre entre les énergies reçues (le rayonnement solaire par exemple) et émises. L'énergie reçue par la Terre est réfléchiée pour partie, mais lui revient grâce à son atmosphère qui renvoie une fraction de cette énergie vers la surface du globe. Ce phénomène naturel peut être exagéré par la présence en trop grande quantité de gaz à effet de serre produits par l'activité humaine. Cela augmente son réchauffement. Depuis le début de l'ère industrielle, divers gaz à effet de serre ont fortement augmenté et notamment le dioxyde de carbone et le méthane. Cette concentration accrue semble modifier dès à présent le climat.

Génotoxique : susceptible d'affecter le matériel génétique des cellules, dans le corps humain ou toute matière vivante.

Goudron : de cette substance obtenue par distillation de la houille ou du pétrole on retire de nombreux dérivés : benzène, toluène, xylène, phénol, naphthalène, crésol, anthracène, brai...

Huile minérale : autre nom du pétrole.

Impact : conséquence de perturbations plus ou moins graves sur un environnement, susceptible d'en modifier le fonctionnement en épidémiologie et évaluation du risque, l'impact est mesuré par le nombre de personnes qui souffrent ou souffriront d'une exposition à un agent dangereux.

Machefers : principale forme des résidus solides issus de l'incinération des déchets.

Moisissure : champignon de très petite taille qui provoque une modification chimique du milieu sur lequel il s'étend.

Mutagène : agent susceptible d'introduire des modifications de l'ADN des cellules transmissibles lors de la division cellulaire.

Nitrate : forme chimique d'oxydation de l'azote. Principal aliment azoté des plantes.

Oxydes d'azote : les NOx sont les produits de la décomposition (oxydation) de l'azote, gaz qui représente 79 % du volume de l'atmosphère terrestre.

Particule : petite partie de matière solide ou liquide.

Radioactivité : propriété de certains noyaux atomiques d'émettre des particules ou des rayonnements électromagnétiques, l'activité d'un élément radioactif se mesure au nombre de désintégrations qui se produisent par seconde. L'unité de mesure est le becquerel (une désintégration par seconde). La radioactivité peut être naturelle ou artificielle. Les radioéléments présents dans la nature sont source de radioactivité « naturelle ». Quand on brise volontairement un atome d'uranium (à coups de neutrons) pour en extraire de l'énergie, on multiplie d'un coup sa radioactivité par centaines de milliards : la radioactivité est alors appelée « artificielle ».

Radioélément (ou corps radioactif) : élément formé d'atomes instables qui se désintègrent spontanément en émettant des rayonnements (la radioactivité).

Radioprotection : ensemble des mesures, réglementaires ou matérielles, mises en œuvre pour protéger les populations et les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants contre les effets néfastes de la radioactivité.

Radiotoxique : un élément radiotoxique est dangereux tant par les dégâts provoqués par sa désintégration dans les cellules du corps que par sa composition chimique. Le plutonium est radiotoxique, par exemple.

Rayonnements ionisants : rayonnements dont l'énergie est suffisante pour ioniser la matière qu'elle traverse, c'est-à-dire modifier l'équilibre électronique des molécules, en ajoutant ou en retranchant un électron, ou en séparant la molécule en deux ions, l'un positif, l'autre négatif.

Seuil de détection : concentration minimale d'une substance observable par un système de mesure donné. Quand l'effet est quantifiable par une méthode d'analyse chimique, par exemple, on définit un **seuil de détection**. Le **seuil olfactif** est le niveau minimal d'odeur détectable par le nez humain. Le **seuil de nocivité** (ou de toxicité) est un niveau de pollution dont le dépassement pendant un temps déterminé peut provoquer des effets néfastes pour l'homme, les animaux ou les plantes.

Smog : contraction des mots anglais smoke (fumée) et fog (brouillard). Le smog est un brouillard chimique provoqué par la combinaison de l'humidité et des polluants émanant de l'activité humaine.

Solvant : substance capable de dissoudre un corps. Un solvant sert généralement de diluant ou de dégraissant.

Tonne-équivalent-pétrole (Tep) : unité de mesure qui permet de comparer la capacité énergétique des différentes sources de production (hydroélectricité, nucléaire, énergies fossiles, énergies renouvelables, etc.) l'unité de mesure est l'énergie libérée par la combustion d'une tonne de pétrole.

Toxine : substance toxique élaborée par un organisme vivant.

INDEX

- | | | |
|--|--|--|
| Académie nationale de médecine : 177 | Amibes : 104 | Botulisme : 251 |
| Acaréens : 44, 61 | Amibiase : 89 | Bras de houille : 67 |
| Accidents du travail : 66 | Amphiboles : 281 | Bricolage : 62 |
| Acétaldéhyde : 62 | Analyse Quantitative des Relations Structure-Activité (QSAR) : 264 | Bronchite chronique : 44, 45 |
| Acétone : 57 | Anémie : 292 | Bruit : 66, 186 |
| Additifs : 111 | Animaux domestiques : 61 | Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) : 147 |
| Adultes : 308 | Antibiotiques : 111 | |
| ADEME : 50, 147, 229 | Anticorps : 250 | Cadmium : 140, 293 |
| Aération : 55 | Appareils électroménagers : 173 | Caisse régionale d'assurance maladie (CRAM) : 69, 270 |
| Aérosols : 58 | Aromatiques : 52, 302, 306 | Calorifugeage : 57 |
| Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) : 112, 230, 235 | Arsenic : 109, 294 | Canalisations : 81 |
| Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail (ANACT) : 273 | Asbestose : 248, 283 | Cancer : 65, 144, 159, 176, 248, 283, 309 |
| Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) : 319 | Association française de normalisation : 262 | Cancers cutanés : 185 |
| Agents réfrigérants : 180 | Asthme : 43, 54, 201 | Carboxyhémoglobine : 59 |
| Agroalimentaire : 119 | Atrazine : 96 | Carcinomes cutanés : 184 |
| Air extérieur : 31 | Audiogramme : 192 | Centrales nucléaires : 156 |
| Air intérieur : 54 | Audiométrie : 189 | Centre international de recherche sur le cancer : 67, 284, 296 |
| ALARA : 47 | Avortements : 292, 299 | Centres antipoison : 264 |
| Aldrine : 96 | | Centres d'enfouissement technique : 134 |
| Aléa thérapeutique : 241 | Bactéries : 60, 86, 249 | Céruse : 289 |
| Alertes : 51 | Baignade : 82 | Chadwick : 22 |
| Allyles de plomb : 289 | Becquerel : 156, 160, 313 | Chaîne alimentaire : 109 |
| Allergènes : 44, 61 | Benzène : 52, 310 | Champ électrique : 173 |
| Allergies : 61 | Benzo(a)pyrène : 60, 248, 306 | Champignons : 60 |
| Alzheimer (maladie d') : 92 | Bhopal : 203 | Champ magnétique : 173 |
| Ambiances de travail : 69 | Biocontaminants : 60 | Champ magnétique terrestre : 173 |
| American Medical Association : 177 | Bio-industries : 126 | Champs électromagnétiques de basse fréquence : 172 |
| Amiante : 68, 75, 281 | Biotechnologie : 125, 128 | |
| | Biotransformation : 248 | |
| | Bœuf britannique : 122 | |
| | Boues de stations d'épuration : 109, 152 | |

- Changement climatique : 207
 Chloracné : 303
 Chloro-fluoro-carbone : 180
 Chloroforme : 98
 Chlorure de vinyle : 72
 Chrome : 143, 296
 Chrysotile : 281
 Climatisation : 56
Clostridium perfringens : 114
 CNRS : 228
 CO₂ : 59
 COGEMA : 15
 Cohorte : 245
 COLCHIC : 69
 Colles : 57, 297
 Combustible nucléaire : 156
 Comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail (CHSCT) : 69, 73
 Comité de la prévention et de la précaution : 229, 264
 Comité français d'accréditation : 262
 Commission centrale de la sécurité et de l'information nucléaire : 167
 Commission d'évaluation de l'écotoxicité des substances chimiques : 264
 Commission de toxicovigilance : 264
 Commission internationale de protection radiologique (CIPR) : 159, 315
 Commission nationale d'hygiène et de sécurité du travail en Agriculture : 264
 Commissions locales d'information (CLI) : 167, 238
 Composés carbonyles : 57
 Composés organiques volatils : 52, 135
 Conseil départemental d'hygiène (CDH) : 101, 239
 Conseil supérieur d'hygiène publique de France : 64, 101, 229, 264
 Couche d'ozone : 180
 Coup de chaleur : 182
 Coup de soleil : 183
 Creutzfeld-Jacob (maladie de) : 27, 107
 CRIRAD : 166
Cryptosporidium : 89, 103, 249
 Cyanobactéries : 104
 Danger : 28, 218
 DDASS : 101, 113
 DDT : 110, 279
 Décharges : 134
 Déchet : 132
 Déchets industriels spéciaux : 134
 Déchets radioactifs : 166
 Décibels : 187
 Défoliants : 304
 Délégués du personnel : 73
 Demi-vie : 247
 Désinfection : 85
 Dieldrine : 97
 Diesel : 52, 306
 Dioxines : 34, 109, 141, 279, 302
 Dioxyde d'azote : 32, 37
 Dioxyde de soufre : 37
 Direction de la prévention des pollutions et des risques : 261
 Direction de la sûreté des installations nucléaires (DSIN) : 166
 Direction des relations du travail (DRT) : 269
 Direction générale de l'alimentation : 261
 Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) : 112, 229
 Direction générale de la santé : 95, 229
 Directive européenne : 72, 261
 Distillène : 279
 DL50 : 253, 298
 Dose externe : 28
 Dose journalière ou hebdomadaire tolérable (DJA, DHT) : 92, 254
 Dose infectante : 87, 103
 Dose interne : 28
 Dose journalière acceptable (DJA) : 254
 Dose journalière tolérable (DJT) : 254
 Dose minimale à effet nocif observé (DMENO) : 253
 Dose minimale infectante : 87, 103
 Dose sans effet nocif observé : 253
 Doses létales : 263, 298
 Dose virtuellement sûre : 255
 Dosimètre : 162
 DRIRE, Direction de l'industrie, de la recherche et de l'environnement : 137
 Eau : 81
 Eau du robinet : 94
 Eau minérale : 90
 Eaux résiduaires : 152
 Eaux usées : 104, 256
 Électricité : 172
 Electroencéphalogramme : 178
 Emballages : 133
 Encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) : 120
 Endotoxines : 251
 Énergie acoustique : 188
 Énergie nucléaire : 156, 171
 Engrais azotés : 201
 Engrais phosphatés : 151
 Environmental Protection Agency : 146, 237, 299, 306
 Épidémies : 86
 Épidémiologie : 43, 219, 243
 Espérance de vie : 144
 Essais *in vivo* : 263
 Essence plombée : 34, 290
 États généraux de la santé : 239
 Éthers de glycol : 58, 297
 Étude de danger : 275
 Études d'impact : 274
 Études géographiques : 245
 Études temporelles : 244
 Évaluation du risque : 29, 145, 215, 231
 Exotoxines : 250
 Expertise : 221, 228
 Exposition : 28, 243, 255
 Farines animales : 122
 Farr : 22
 Fécondation : 277
 Femme enceinte : 292, 299
 Fertilité : 96, 277, 292, 303
 Fièvre typhoïde : 86, 115
 Fines particules : 33, 41
 Fluor : 91
 Fonction ventilatoire : 45
 Formaldéhyde : 57, 62
 Friches industrielles : 145
 Fumée de tabac : 40, 46, 307, 310
 Fumier : 133
 Furan : 42, 302
 Gamètes : 277
 Gastro-entérites : 88
 Gaz à effet de serre : 55
 Gaz carbonique : 58
 Gazole : 52
 Génie génétique : 125
 Génotoxiques : 96, 248
 Germes indicateurs de contamination fécale : 100
 Gestion du risque : 29, 169, 224, 231
 Giardia : 89
 GNV : 52
 Goudrons : 67, 309
 GPL : 52
 Gray : 314
 Groupes à risque : 43
 Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) : 119
 Héliodermie : 184
 Hépatite A : 88
 Hépatite C : 250
 Heptachlore : 96
 Herbicides : 96
 Hiroshima : 13, 159
 Hormones : 111
 Hormones de croissance : 111, 124
 Hormones sexuelles : 112
 HSDB : 318
 Huiles minérales : 68
 Hydrocarbures : 34, 147
 Hydrocarbures aromatiques polycycliques : 42, 306
 Hydrocarbures aromatiques polycycliques chlorés (HAPC) : 140, 302
 Hydroxypyrene : 309
 Hygiène du milieu : 82
 Hypofertilité : 299
 Impact : 30, 144, 274
 Incertitude scientifique : 16, 215
 Incinérateurs : 123, 139
 Incinération : 131, 139, 304
 Indemnisation sans faute : 241
 Indicateurs bactériens : 99
 Indice Atmo : 37
 Industrie : 32
 Infections : 86, 113, 249
 Inflammation : 250
 Information : 54, 70, 238
 Infrasons : 187
 INRA : 228
 INSERM : 75, 228
 Inspection du travail : 74, 269
 Installations classées : 56
 Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) : 160
 Institut de veille sanitaire (InVS) : 166, 236
 Institut national de recherche et de sécurité (INRS) : 69, 228, 271
 Interférons : 250
 Internet : 316
 Intoxication : 59, 113
 IRIS : 318
 Irradiation : 157, 312
 Irradiation naturelle : 158
 Isocyanates : 67
 Koch : 82
 Kuru : 120
 Laboratoire d'hygiène de la Ville de Paris : 54
 La Hague : 11, 167
 La Toile : 316
Legionella pneumophila : 54
 Leucémies : 11, 136, 159, 311
 Lieu de travail : 65, 266
 Ligne à très haute tension : 175
 Lisier : 133
 Listeria : 108
 Lixiviats : 136
 LOAEL : 253
 Loi Évin : 64
 Loi sur l'air : 47
 Love Canal : 203
 Lymphocytes : 250
 Mâchefers : 134
 Mals transgéniques : 127
 Maladies cardio-vasculaires : 44
 Maladies coronariennes : 45
 Maladies professionnelles : 66, 74, 266
 Maladies respiratoires chroniques : 44
 Malformations congénitales : 136, 299, 303
 Mammites : 118
 Matières fécales : 86, 103, 115
 Médecine nucléaire : 156
 Médecine préventive : 199
 Médecins inspecteurs du travail : 66, 270
 Medline : 317
 Mélanomes : 184
 Mélatonine : 177
 Mésotéliome : 75, 284
 Métaux lourds : 34, 109
 Météorologie : 51
 Méthylmercure : 295
 Micro-ondes : 175
 Micro-organismes : 56, 85, 103, 249
 Milwaukee : 100
 Minamata : 84, 295
 Ministère de l'Emploi et de la Solidarité : 66
 Moississures : 60
 Monoxyde de carbone (CO) : 59
 Montchanin : 135, 203
 Moteur de recherche : 316
 Mouvement hygiéniste : 199
 Mutagènes : 111, 303
 Mutagenèse : 108
 Mutualité sociale agricole (MSA) : 271
 Nagasaki : 13, 159
 National Academy of Sciences : 177
 National Radiological Protection Board du Royaume-Uni : 177
 Navigateur : 318
 Neurotoxicité : 263
 Nickel : 140
 Nicotine : 60
 Nitrates : 81, 94, 109
 Nitrites : 94
 Nitrosamines : 60, 94
 NOAEL : 253
 Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI) : 113, 166
 Office parlementaire d'évaluation des choix technologiques : 172
 Ordures ménagères : 133
 Organisation internationale du travail (OIT) : 65
 Organisation mondiale de la santé (OMS) : 21, 54, 58, 256
 Organismes génétiquement modifiés (OGM) : 125
 Ovocytes : 277
 Oxyde de carbone : 34
 Oxydes d'azote : 34
 Oxydes de soufre : 34
 Ozone : 34
 Pacemakers : 179
 Parasites : 85, 249
 Paratyphoïde : 115
 Pasteur : 23
 PCB : 110, 302
 PCDF : 302
 Peintures : 58, 291, 297
 Perturbateurs endocriniens : 280
 Pesticides : 91, 108, 152

Phénols : 311
Photons : 180, 313
Photoprotection : 181
Phytosanitaires : 297
Pics de pollution : 47
Plans de déplacements urbains : 47
Plèvre : 65, 284
Plomb : 42, 289
Plombémie : 293
Pollens : 44
Pollution atmosphérique : 31
Pollution photo-oxydante : 50
Populations sensibles : 43
Poste de travail : 67
Poussières de maison : 44
Prévention : 66
Principe de précaution : 18, 129, 206
Prions : 107, 120
Programmes régionaux de qualité de l'air : 47
Promoteurs : 303
Protéine Prion : 121
Protozoaires : 86
PVC : 143
Pyralène : 302
Quotient intellectuel : 293
Rad : 314
Radicaux libres : 182
Radioactivité : 156, 313
Radiodiagnostic : 157
Radioéléments : 169
Radioréprotection : 163, 315
Radioréprotection : 177
Radiothérapie : 157
Radon : 159
Ramazzini : 22
Rayonnement Alpha : 313
Rayonnement Beta : 313
Rayonnements : 156, 313
Rayons Gamma : 313
Rayons X : 313
Reflois : 139
Rem : 314
Reproduction : 66, 280, 292, 298
Risque : 27
Risque acceptable : 18, 209, 237, 255
Risque radiologique : 166
Sans seuil : 99, 255
Santé publique : 21, 199
Saturnisme : 81
Scanners : 164
Scotome : 192
Sécurité alimentaire : 119
Sécurité sociale : 27, 73, 270
Services vétérinaires (la DSV) : 113
Seuils de qualité : 37
Seveso : 203
Sida : 114
Sievert : 314
Silice : 72
Silicose : 248
Simazine : 96
Sites orphelins : 147
Smog : 33
Snow : 22, 82
Sols pollués : 146
Solvants : 45, 297
Sommet de la Terre de Rio de Janeiro : 207
Soulaire : 168
Sous-produits de désinfection : 97
Spéctre électromagnétique : 173
Spermatogenèse : 299
Spermatozoïdes : 277
Staphylocoques dorés : 105, 117
Stations d'épuration des eaux urbaines usées : 152
Stimulateurs cardiaques : 179
Substances chimiques : 71, 259
SUMER : 66
Surdité : 74
Surdité * de transmission * : 189
Surdités * de perception * : 189
Surveillance : 29, 69, 89, 230
Surveillance de la qualité de l'air : 49
Syndrome du bâtiment malsain : 56
Tabagisme passif : 60
Tableaux de maladies professionnelles : 74, 266
Tchernobyl : 158, 203
Téléphone portable : 172

Téléphones cellulaires : 177
Témoins : 12
Térogénèse : 264
Test de mutagenèse d'Ames : 263
Tests <i>in vitro</i> : 263
Three Miles Island : 168
Tokaimura : 168
Toluène : 57
Toxicocinétique : 246
Toxicodynamique : 246
Toxi-infection alimentaire collective (TIAC) : 113
Toxines : 60, 113, 250
Traçabilité : 124
Traceurs : 99
Traité d'Amsterdam : 207
Transport : 32
Tremblante du mouton : 122
Troubles de la reproduction : 278
Troubles du sommeil : 194
Turbidité : 101
Ultrasons : 187
Ultraviolets : 87, 180, 312
Union européenne : 54, 207, 259
Université libre de Bruxelles (ULB) : 319
Uranium : 156
UVA : 181
UVB : 181
Vaccination : 250
Vache folle : 27, 107, 120
Valeur guide : 92
Valeurs limites : 103, 255
Valeurs limites d'exposition (VLE, VME) : 71
Ventilation : 55
Villermé : 23
Virulence : 115
Virus : 85
Virus de l'immunodéficience humaine (VIH) : 249
Vitamine D : 182
Xéno-hormones : 112
Xylène : 57
Zones de protection spéciale : 47

TABLE DES MATIÈRES

Préface de Jean-Marie Pelt	7
----------------------------------	---

PRÉAMBULE : LA PARABOLE DES MOULES

Une bataille d'experts	12
Écologistes et industriels : une bataille frontale	14
Des conséquences prévisibles et d'autres qui l'étaient moins	14
Encore un livre sur l'environnement !	17

INTRODUCTION

L'hygiène du milieu, la matrice de la Santé publique	21
Santé, risques et environnement : le sens des mots	27

1. LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

La pollution de l'air extérieur	31
Industrie et transport	32
La mesure de la qualité de l'air	34
Des effets avérés sur la santé	39

Un air sous haute surveillance	48
Des efforts technologiques nécessaires mais insuffisants ...	51
<i>La pollution de l'air intérieur</i>	54
Les locaux, un piège à polluants	56
Les sources de pollution dans la maison	62
Une réglementation à compléter	64
<i>La pollution de l'air dans l'environnement professionnel</i>	65
L'atmosphère sur le lieu de travail :	
un risque gravement sous-estimé	65
La prévention des risques professionnels et ses acteurs ...	71
Les maladies professionnelles en France : sous-déclaration, non-reconnaissance et disparités régionales	74

2. LA POLLUTION DES EAUX

<i>Les eaux de boisson</i>	85
Le risque microbiologique : du potentiel au réel	85
Le risque chimique	91
La gestion du risque lié aux eaux de boisson	98
<i>Les eaux de baignade</i>	103

3. L'ALIMENTATION

<i>La chimie dans notre assiette</i>	109
Les origines de la contamination chimique des aliments ...	109
Transformation des produits alimentaires	110
De l'exposition à la dose ; de la dose au risque	112
<i>Les risques microbiologiques</i>	113
Les toxi-infections alimentaires à la salmonelles	115
L'intoxication par staphylocoque	117
Des risques étroitement surveillés	119
<i>Les prions et la maladie de la vache folle</i>	120
Des bêtes à l'homme	120
Les vaches anglaises sont-elles folles ?	122
<i>Les organismes génétiquement modifiés (OGM)</i>	125
Des risques ? Quels risques ?	126
La réponse des pouvoirs publics	129

4. LES DÉCHETS ET LES SOLS POLLUÉS

<i>Le stockage des déchets</i>	134
Des cimetières à rebut	135
...au confinement new look	136
<i>L'incinération des déchets</i>	139
Suivez mon panache blanc	139
Rien ne se perd, rien ne se crée	142
<i>Sols pollués et friches industrielles</i>	145
Un inventaire des sols contaminés	145
Des risques pour la santé difficiles à apprécier	148
Des règles de gestion en cours d'élaboration	150
Des pratiques agricoles périlleuses	151

5. LES RISQUES PHYSIQUES

<i>Les rayonnements ionisants : la radioactivité naturelle et artificielle</i>	155
Les principales expositions aux rayons ionisants	156
La gestion des risques	169
<i>Les champs électromagnétiques de basse fréquence</i>	172
Nature et sources des champs électromagnétiques de basse fréquence	173
Une histoire étonnante	176
Et les radiotéléphones ?	177
Que faire en pratique ?	178
<i>Les rayonnements ultraviolets</i>	179
Le rayonnement solaire	180
Effets biologiques de la lumière	181
La peau, une protection bien fragile	182
<i>Le bruit</i>	186
Le bruit, une menace pour le système auditif	188
Les effets non auditifs du bruit	193
Le bruit perturbateur du sommeil ; la vigilance menacée ...	194
La réglementation du bruit	195

CONCLUSION :

AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'ENVIRONNEMENT

L'environnement et la santé : un mélange détonant	199
Des voies pour progresser	219

ANNEXE I

1. Principes d'épidémiologie et applications dans le domaine de la pollution atmosphérique	243
2. Notions de toxicocinétique et de toxicodynamique	246
3. Les mécanismes de l'infection	249
4. Méthodes usuelles pour déterminer les normes de qualité d'un milieu	252
5. Procédures d'autorisation de nouvelles substances chimiques ...	259
6. La reconnaissance des maladies professionnelles	266
7. Tableau de famille : les institutions de la santé au travail	269
8. Les études d'impact	274
9. Les troubles de la reproduction	277
10. Quelques polluants vedettes	281
11. Les rayonnements ionisants	312

ANNEXE II

Source d'information pour la santé et l'environnement sur la toile...	316
---	-----

Bibliographie	321
Les auteurs	323
Glossaire	326
Index	329

Composition : D. V. Arts Graphiques, 28000 Chartres
Achevé d'imprimer en mai 2000
par la Société Nouvelle Firmin-Didot
Mesnil-sur-l'Estrée
Dépôt légal : mai 2000 - N° d'impression : 51392
Imprimé en France

